



РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО
RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY



PROBLEMS OF GEOGRAPHY

The collected scientific works were founded in 1946 at the initiative and under the guidance of N.N. Baranskiy at the Moscow branch of Geographical Society of USSR. Publication of the series was resumed in 2009 as the Russian Geographical Society edition

EDITORIAL BOARD:

V.M. Kotlyakov

N.S. Kasimov

P.Ya. Baklanov

V.A. Rummyantsev

A.A. Chibilyov

S.A. Dobrolyubov

K.N. Dyakonov

A.A. Tishkov

N.I. Koronkevich

A.V. Postnikov

V.M. Razumovsky

V.N. Streletsky

K.V. Chistyakov



ВОПРОСЫ ГЕОГРАФИИ

Научные сборники, основанные в 1946 г. по инициативе и под руководством Н.Н. Баранского в Московском филиале Географического общества СССР. Серия возобновлена в 2009 г. как издание Русского географического общества

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

академик *В.М. Котляков* (председатель)

академик *Н.С. Касимов* (заместитель председателя)

академик *П.Я. Бакланов*

академик *В.А. Румянцев*

академик *А.А. Чибилёв*

член-корреспондент РАН *С.А. Добролюбов*

член-корреспондент РАН *К.Н. Дьяконов*

член-корреспондент РАН *А.А. Тишков*

доктор географических наук *Н.И. Коронкевич*

доктор технических наук *А.В. Постников*

доктор географических наук *В.М. Разумовский*

доктор географических наук *В.Н. Стрелецкий*

доктор географических наук *К.В. Чистяков*



**PROBLEMS
OF GEOGRAPHY**

Volume 144

**CARTOGRAPHY
IN THE DIGITAL AGE**

Editorial board:

V.M. Kotlyakov

I.K. Lurie

A.A. Medvedev

T.E. Samsonov

MOSCOW
«Kodeks» Publishing House
2017



ВОПРОСЫ
ГЕОГРАФИИ

Сборник 144

КАРТОГРАФИЯ В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ

Редакционная коллегия:

В.М. Котляков

И.К. Лурье

А.А. Медведев

Т.Е. Самсонов

МОСКВА

Издательский дом «Кодекс»

2017

УДК 528
ББК 26.1
В 74

ISSN 0372-5758

Рекомендовано Ученым советом Русского географического общества

Рецензенты:

доктор географических наук А.М. Берлянт
доктор географических наук А.Н. Чумаченко
кандидат географических наук Е.Г. Капралов

Вопросы географии / Моск. филиал ГО СССР / Русское геогр. об-во. – М.
Издаётся с 1946 г.
В 74 **Сб. 144:** Картография в цифровую эпоху / Отв. ред. В.М. Котляков [и др.]. –
М.: Издательский дом «Кодекс», 2017. – 432 с.

Сборник посвящен современному состоянию методов и технологий картографии, геоинформатики и дистанционного (аэрокосмического) зондирования. Статьи охватывают проблемы развития картографии в ретроспективе смены технологических парадигм, появления новых форм картографирования на современном этапе под влиянием технологических трансформаций, развития методов дистанционного зондирования, становления геоинформатики как научно-технологической дисциплины, разрабатывающей общие вопросы использования географической информации. Представленные в сборнике материалы показывают, что картография как любая живая наука испытывает необходимость преодоления новых теоретических рубежей и ставит перед собой вопросы, связанные с совершенствованием собственных методов и технологий.

ISBN 978-5-9500824-1-2

Problems of Geography / Russian Geographical Society Moscow Center. – Moscow. **Vol. 144:** Cartography in the digital age / Editors-in-Chief V.M. Kotlyakov et. al. – Moscow: «Kodeks» Publishing House, 2017. – 432 p.

The digest is devoted to the current issues of cartography, geoinformatics, and remote sensing development. The articles which constitute it cover a wide range of problems in cartography in the retrospective of changing technological paradigms, the emergence of new mapping forms under the influence of technological transformations, development of remote sensing methods, the emergence of geoinformatics as a scientific and technological discipline that deals with general issues of geographic information use. The materials presented in the digest show that cartography as any living science is experiencing the need to overcome theoretical boundaries and pose questions related to the improvement of cartography's own methods and technologies.

ISBN 978-5-9500824-1-2

© Русское географическое общество, 2017
© Russian Geographical Society, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	11
-------------------	----

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ

<i>И.К. Лурье.</i> ЦИФРОВАЯ ЭПОХА В КАРТОГРАФИИ: ОТ АВТОМАТИЗАЦИИ К КАРТОГРАФИЧЕСКИМ СЕРВИСАМ	15
<i>А.В. Кошкарев.</i> КАРТОГРАФИЯ В ЭПОХУ ИНФРАСТРУКТУР ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ	29
<i>М.В. Нырцов.</i> АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ВНЕЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ	42
<i>Т.Е. Самсонов.</i> СОВРЕМЕННАЯ ГЕОИНФОРМАТИКА И ЕЁ РОЛЬ В РАЗВИТИИ КАРТОГРАФИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ НАУК	52

ТЕМАТИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<i>Н.А. Алексеенко.</i> ДАННЫЕ ОБ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КАК ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ	73
<i>И.Ф. Петрова.</i> МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОСТАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ	85
<i>Г.А. Ефремов, И.Н. Ротанова.</i> АТЛАСНОЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ НА ПРИМЕРЕ АТЛАСА «БОЛЬШОЙ АЛТАЙ: ПРИРОДА, ИСТОРИЯ, КУЛЬТУРА»	98
<i>В.В. Гайда, И.Н. Ротанова.</i> РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГО-ФИТОГЕОГРАФИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ЛАНДШАФТНОГО ПОДХОДА	122
<i>Н.И. Тульская, Е.И. Голубева, Т.В. Котова.</i> КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ	136
<i>А.Р. Аляутдинов, Л.А. Ушакова, С.В. Чистов.</i> ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ВОДОЁМОВ	153
<i>А.Л. Энтин, С.М. Кошель, И.К. Лурье, Т.Е. Самсонов.</i> МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ДЛЯ ОЦЕНКИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА	169
<i>Т.Е. Хромова.</i> ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ	187
<i>С.В. Пьянков, А.Н. Шихов, Р.К. Абдуллин.</i> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ТЕМАТИЧЕСКОМ АТЛАСНОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ (НА ПРИМЕРЕ АИС «ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ УРАЛЬСКОГО ПРИКАМЬЯ»)	208

<i>Е.А. Прохорова, В.Н. Семин, А.В. Морозова.</i> СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ И СЕТЕЙ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ.....	227
<i>Д.С. Асоян.</i> ЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭКЗОМОРФОГЕНЕЗА ПО КОСМИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ ГОРНЫХ СТРАН.....	245
<i>Б.А. Новаковский, П.Е. Каргашин, А.М. Карпачевский.</i> ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ: ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ.....	264
<i>П.Е. Каргашин.</i> КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ВРЕМЕННЫХ АСПЕКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТА УГЛЕВОДОРОДОВ....	280
<i>Т.И. Золотова, Т.А. Андреева, М.В. Литвинова.</i> КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ: ОПЫТ КАФЕДРЫ КАРТОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА.....	292

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ОБЩЕСТВА ПУТЁМ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

<i>В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина, М.В. Зимин.</i> ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ: ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ.....	306
<i>О.В. Вахнина, Е.Г. Харьковец, Е.Р. Чалова.</i> ПОЛЕВАЯ ФОТОСЪЁМКА В РАБОТАХ ЛАБОРАТОРИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ: ОТ ПЕРВЫХ ПРИБОРОВ ДО ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАФИИ.....	332
<i>Е.А. Балдина, П.Г. Михайлюкова, К.А. Трошко.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕМАТИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ.....	342
<i>М.Ю. Грищенко, Е.А. Балдина.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СНИМКОВ В ТЕПЛОМ ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ.....	358
<i>О.В. Тутубалина, М.В. Зимин, Е.И. Голубева, И.М. Микляева, О.В. Вахнина, А.И. Михеева.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАЗЕМНЫХ И ВОЗДУШНЫХ МЕТОДОВ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР.....	376
<i>В.И. Кравцова.</i> НОВЫЙ РАКУРС ПРОБЛЕМЫ «РАЗРЕШЕНИЕ–ОХВАТ» В ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ: ТЕМАТИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ НА БАЗЕ GOOGLEEARTH.....	392
<i>А.А. Медведев, Н.А. Алексеенко.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ТЕМАТИЧЕСКОГО КРУПНОМАСШТАБНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ.....	408
Данные об авторах.....	427

CONTENT

Foreword.....11

**THEORY AND METHODS OF GEOGRAPHIC CARTOGRAPHY
AND GEOINFORMATICS**

I.K. Lurie. DIGITAL AGE IN CARTOGRAPHY: FROM AUTOMATION TO MAP SERVICES 15
A.V. Koshkarev. CARTOGRAPHY IN THE SDI'S ERA 29
M.V. Nyrtsov. ACTUAL PROBLEMS OF EXTRATERRESTRIAL OBJECTS MAPPING 42
T.E. Samsonov. GEOGRAPHICAL INFORMATION SCIENCE TODAY AND ITS ROLE IN
 THE DEVELOPMENT OF CARTOGRAPHY AND INTERACTION BETWEEN GEOGRAPHIC SCIENCES..... 52

THEMATIC MAPPING OF NATURAL AND SOCIO-ECONOMIC SYSTEMS

N.A. Alexeenko. DATA OBTAINED IN NATURAL PROTECTED AREAS AS INFORMATION
 FOR MANAGEMENT AND TERRITORIAL PLANNING 73
I.F. Petrova. METHODOLOGICAL BASIS OF THE CREATION
 OF THE ECOLOGICAL-GEOGRAPHICAL MAPS..... 85
G.A. Efremov, I.N. Rotanova. ATLAS GEOINFORMATION MAPPING AND ITS
 IMPLEMENTATION ON THE EXAMPLE OF THE ATLAS «GREAT ALTAI:
 NATURE, HISTORY, CULTURE» 98
V.V. Gaida, I.N. Rotanova. DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL AND PHYTOGEOGRAPHICAL
 MAPPING IN THE CONTEXT OF A LANDSCAPE APPROACH 122
N.I. Tulskeya, E.I. Golubeva, T.V. Kotova. CARTOGRAPHICAL METHODS FOR VISUALIZATION
 OF PRODUCTIVE PROCESSES IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS..... 136
A.R. Alyautdinov, L.A. Ushakova, S.V. Chistov. INFORMATION SUPPORT OF ECOLOGICAL
 AND GEOGRAPHICAL RESEARCH AND MAPPING OF WATER BODIES..... 153
A.L. Entin, S.M. Kosheh, I.K. Lurie, T.E. Samsonov. MORPHOMETRIC ANALYSIS OF DIGITAL
 ELEVATION MODELS FOR ASSESSMENT AND MAPPING OF SURFACE FLOW DISTRIBUTION 169
T.E. Khromova. GIS MAPPING FOR GLACIOLOGICAL STUDIES 187
S.V. Pyankov, A.N. Shikhov, R.K. Abdullin. MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES
 IN THEMATIC ATLAS MAPPING (ON EXAMPLE OF THE AIS «HAZARDOUS
 HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS OF THE URAL PRIKAMYE REGION») 208
E.A. Prokhorova, V.N. Semin, A.V. Morozova. SOCIO-ECONOMIC ASPECTS OF TRANSPORT
 AND HUMAN SETTLEMENT NETWORKS MAPPING..... 227

<i>D.S. Asoyan.</i> LANDSCAPE INDICATION OF EXOMORPHOGENETIC HAZARDOUS PROCESSES ON A BASE OF SPACE IMAGES OF MOUNTAIN AREAS.....	245
<i>B.A. Novakovskiy, P.E. Kargashin, A.M. Karpachevskiy.</i> GIS MAPPING OF ELECTRICAL NETWORKS: APPROACHES AND METHODS.....	264
<i>P.E. Kargashin.</i> MAPPING OF SPATIAL AND TEMPORAL PROPERTIES OF ENVIRONMENTAL STATE OF PETROLEUM PRODUCTION AND TRANSPORT AREAS.....	280
<i>T.I. Zolotova, T.A. Andreeva, M.V. Litvinova.</i> THE EXPERIENCE IN MAPPING OF CULTURAL AND HISTORICAL HERITAGE IN THE DEPARTMENT OF CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS OF THE SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY.....	292

REMOTE SENSING FOR STUDYING CHANGES OF ENVIRONMENT AND SOCIETY

<i>V.I. Kravtsova, O.V. Tutubalina, M.V. Zimin.</i> REMOTE SENSING IN GEOGRAPHICAL RESEARCH: MAIN ACHIEVEMENTS OF THE LABORATORY OF AEROSPACE METHODS AND AREAS OF FUTURE DEVELOPMENT.....	306
<i>O.V. Vakhnina, Ye.G. Kharkovets, E.R. Chalova.</i> FIELD PHOTOGRAPHY IN THE AEROSPACE LABORATORY RESEARCH: FROM FIRST DEVICES TO DIGITAL PHOTOS.....	332
<i>E.A. Baldina, P.G. Mikhaylyukova, K.A. Troshko.</i> POTENTIAL OF RADAR REMOTE SENSING FOR THEMATIC MAPPING.....	342
<i>M.Yu. Grischenko, E.A. Baldina.</i> STUDYING THE POSSIBILITIES OF THERMAL SPACE IMAGERY APPLICATION FOR THEMATIC MAPPING.....	358
<i>O.V. Tutubalina, M.V. Zimin, E.I. Golubeva, I.M. Miklyaeva, O.V. Vakhnina, A.I. Mikheeva.</i> APPLICATION OF GROUND AND AERIAL METHODS OF SPECTRAL OBSERVATIONS TO DETERMINING THE CONDITION OF AGRICULTURAL CROPS.....	376
<i>V.I. Kravtsova.</i> A NEW TURN OF A PROBLEM «RESOLUTION—EXTENT» IN REMOTE SENSING: THEMATIC MAPPING AT THE BASE OF GOOGLEEARTH.....	392
<i>A.A. Medvedev, N.A. Alekseenko.</i> PERSPECTIVES FOR THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV) FOR LARGE-SCALE THEMATIC MAPPING.....	408
List of the authors.....	427

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1958 г. вышел в свет сборник «Вопросы географии» (№ 42), посвящённый картографии. За минувшие 60 лет произошли большие информационно-технологические изменения, которые коренным образом повлияли на картографию. В условиях развития геоинформатики и бурной автоматизации науки в целом картография на своём эволюционном пути становится всё более междисциплинарной и трансдисциплинарной. Развитие средств и методов дистанционного зондирования привнесло во многие географические науки большой поток информации, и картография адаптировала его к оперативному картографированию, что обеспечило множество выходов в практику географических исследований.

Вспоминая сборник 1958 года, мы можем легко себе представить, какие задачи стояли перед картографами того времени и как велик тот путь, который прошла картография в нашей стране, как и во всём мире, за последние полвека. Многие разработки уже стали классикой и методической основой всех картографических работ. За последние десятилетия тематическая картография не только обеспечивала своей продукцией нужды научно-образовательного процесса и народного хозяйства, но продолжала заполнять вакуум и стирать белые пятна на карте страны в различных масштабах.

Читая работы классиков российской картографии – К.А. Салищева, И.П. Заруцкой, Г.А. Гинзбурга (их работы опубликованы в том сборнике), чётко видишь вектор основных направлений, определивших развития отрасли. Систематизация способов картографического изображения (К.А. Салищев) и проекций и компоновок географических карт (Г.А. Гинзбург) стали основополагающим материалом для любого картографа. Уже в том, давнем сборнике встают вопросы дешифрирования аэрофотоснимков для целей тематического картографирования (Л.М. Гольдман, З.Г. Рябцева, Л.А. Богомолов), которые дают основу понимания дешифровочных признаков, а также новых источников данных.

Нынешний сборник продолжает на современном уровне ту же линию «связи времён», из публикуемых статей очевидно, что основные направления картографии продолжают развиваться, а новые технологические возможности дают массу востребованной пространственно-определённой информации и добавляют «свежую палитру» современным картам.

Настоящий сборник приурочен к 85-летию кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Кафедра была основана в 1932 г. на географическом отделении физико-математического факультета Московского университета, а затем вошла в состав созданного в 1933 г. географического факультета под названием кафедры картографии и геодезии. В 1989 г. кафедра получила современное название – картографии и геоинформатики.

Кафедра представляет собой крупный научно-исследовательский центр, занимающий передовые позиции в отечественной картографии. При кафедре созданы научные лаборатории аэрокосмических методов, автоматизации в картографии, цифровой картографии и фотограмметрии, центр геоинформационных технологий, а также учебные кабинеты картографии, топографии, геоинформатики.

Кафедра признана в России ведущей научной школой географической картографии. Её цель заключается в разработке теории картографии как науки о картографическом моделировании и познании геосистем. Становление и развитие школы связано прежде всего с именами профессоров К.А. Салищева, С.Н. Сербенюка, А.М. Берлянта, заведовавших кафедрой в разные годы. Большой вклад в становление научных направлений аэрокосмических исследований геосистем и космического картографирования внесли доктора географических наук Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, Б.А. Новаковский. Становление автоматизации в картографии, геоинформатики и геоинформационного картографирования как научных и образовательных направлений в нашей стране прочно ассоциируется с фамилиями профессоров А.М. Берлянта, И.К. Лурье, С.Н. Сербенюка, В.С. Тикунова. Труды ряда сотрудников кафедры были отмечены Государственными премиями СССР и России в области науки и техники. В число важнейших исторических достижений кафедры входит создание серий карт для Высшей школы, серий региональных и тематических атласов, формирование системы географо-картографического образования, внедрение автоматизации в тематическое картографирование.

С 2011 г. кафедра готовит бакалавров и магистров по новому образовательному направлению «Картография и геоинформатика», происходит интенсивная модернизация учебных курсов, создаются инновационные магистерские программы с активным вовлечением компьютерных технологий. Работы сотрудники кафедры публикуются в международных научных изданиях, что говорит о положительном потенциале развития университетской картографической школы. Некоторые результаты исследований последних лет вошли в данный сборник.

В 25 статьях сборника, подготовленных преподавателями и научными сотрудниками кафедры, Института географии РАН и ведущих университетов России представлены результаты исследований в области картографии и смежных с нею дисциплин.

В *первом разделе* представлены статьи обзорного плана, освещающие историю и современное состояние методов и технологий картографии, геоинформатики и дистанционного (аэрокосмического) зондирования. Эти статьи охватывают проблемы развития картографии в ретроспективе смены технологических парадигм и научных концепций конца XX – начала XXI вв. (И.К. Лурье), появления новых форм картографирования на современном этапе под влиянием технологических трансформаций и организации инфраструктур пространственных данных (А.В. Кошкарев),

развития методов дистанционного зондирования, космического картографирования и аэрокосмического образования для географов (В.И. Кравцова и др.), картографирования небесных тел Солнечной системы как перспективного направления в свете большого внимания к освоению космического пространства (М.В. Нырцов), становления геоинформатики как научно-технологической дисциплины, разрабатывающей общие вопросы использования географической информации, в том числе при создании карт и взаимодействии географических наук (Т.Е. Самсонов).

Во *втором разделе* объединены статьи, посвящённые тематическим направлениям картографии и геоинформатики, разработке отраслевых методов и их прикладному использованию. Представленные здесь результаты демонстрируют разнообразие актуальных в настоящий момент областей применения картографического и геоинформационного методов исследования. Рассмотрены проблемы использования географической информации и картографирования в целях охраны природного и культурного наследия (Н.А. Алексеенко; Т.И. Золотова и др.). Вниманию читателей представлены вопросы развития теории эколого-географического картографирования (И.Ф. Петрова), эколого-географического картографирования водных объектов (А.Р. Аляутдинов и др.), территорий добычи и транспортировки углеводородов (П.Е. Каргашин). В рамках природоведческого направления внимание уделено картографированию растительности (В.В. Гайда и И.Н. Ротанова) и продукционных процессов в наземных экосистемах (Н.И. Тульская и др.), а также геоинформационным методам исследования рельефа (А.Л. Энтин и др.) и ледниковых систем (Т.Е. Хромова и др.). Социально-экономическое направление представлено разработками в области картографирования сетей транспорта и расселения (Е.А. Прохорова и др.), а также электрических сетей (Б.А. Новаковский и др.), образующих важнейшие звенья социально-экономического каркаса территории. Особое место во втором разделе занимают работы, посвящённые проблемам атласного картографирования (Г.А. Ефремов и И.Н. Ротанова; С.В. Пьянков и др.) и демонстрирующие возможности создания региональных картографических обобщений разной тематики на современном научно-технологическом уровне.

В *третьем разделе* представлен анализ различных аспектов интерпретации данных дистанционного зондирования при выполнении географических исследований и картографировании. Значительная часть раздела посвящена анализу возможностей дешифрирования перспективных и нестандартных источников аэрокосмической информации, таких как радиолокационные (Е.А. Балдина и др.), гиперспектральные (О.В. Тутубалина и др.) и тепловые (М.Ю. Грищенко, Е.А. Балдина) снимки. Показан уникальный потенциал таких данных для дешифрирования и картографирования природных и городских территорий, исследования рельефа, температуры поверхностей, определения состояния сельскохозяйственных культур. Не обойдены вниманием и вопросы интерпрета-

ции традиционных снимков в видимом диапазоне спектра – исследованы дешифровочные признаки проявлений экзогенных процессов на космических изображениях (Д.С. Асоян). Другая группа статей этого раздела мотивирована быстрым ростом возможностей получения снимков сверхвысокого разрешения, который наблюдается в последние годы благодаря внедрению беспилотной аэрофотосъёмки (А.А. Медведев и Н.А. Алексеев; О.В. Вахнина и др.), расширению группировок спутников, модернизации космических съёмочных систем и средств распространения снимков – геопорталов, которые фактически снимают ранее существовавшую проблему соотношения охвата и разрешения снимков (В.И. Кравцова). Выполнен анализ перспективных направлений и проблем интерпретации снимков сверхвысокого разрешения. Показано, что важную роль играют и наземные полевые методы получения информации для картографирования, такие как цифровая фотография (О.В. Вахнина и др.) и спектрометрирование (О.В. Тутубалина и др.).

Представленные в сборнике материалы показывают, что картография как любая живая наука испытывает необходимость преодоления новых теоретических рубежей и ставит перед собой вопросы, связанные с совершенствованием собственных методов и технологий. География как основной потребитель картографического метода исследования формулирует картографические сюжеты, для постановки которых требуются не только новые подходы к визуализации данных, но также способы извлечения географической информации на основе методов геоинформационного моделирования и аэрокосмического зондирования.

Разнообразие источников географической информации, высокая частота и объём её получения требуют интенсивного развития геоинформационных технологий для эффективного управления пространственными данными, в том числе в целях картографирования. Доступность картографических технологий широкому кругу исследователей в науках о Земле меняет и саму сущность профессии картографа, выдвигая всё более высокие требования к компьютерным навыкам её представителей, их способностям автоматизировать сложные технологические процессы обработки пространственных данных.

Университетская географическая картография, которая традиционно базировалась на уникальности сочетания географических знаний и картографических навыков, испытывает необходимость столь же глубокого погружения в компьютерные науки для обеспечения её конкурентоспособности и самоидентификации в системе современных научных школ. В этом плане настоящий сборник отражает состояние картографии в переходный период, когда специфика новых подходов требует кропотливого извлечения географической информации и бережного отношения к результатам, полученным с помощью новых методов.

В.М. Котляков, И.К. Лурье, А.А. Медведев, Т.Е. Самсонов

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ

И.К. Лурье

ЦИФРОВАЯ ЭПОХА В КАРТОГРАФИИ: ОТ АВТОМАТИЗАЦИИ К КАРТОГРАФИЧЕСКИМ СЕРВИСАМ

Введение

Картография – область науки, техники и производства, охватывающая создание, изучение и использование географических карт и других картографических произведений (в том числе карт внеземных объектов). Такое определение картографии даётся в государственных нормативных изданиях. Традиционное, закреплённое Международной картографической ассоциацией, определение картографии – наука о картах как особом способе изображения действительности, их создании и использовании.

История картографии – неотрывная часть развития цивилизации. Картография зародилась в глубокой древности, упоминания о картах есть в Библии (Берлянт, 1997). Главным фактором прогресса картографии как науки и производства всегда была потребность общества в картах как средстве познания окружающего мира, управления им, фиксации, визуализации и передачи пространственной информации. Внутренние причины развития картографии на разных исторических этапах, её поворотные моменты определяли три главных фактора: развитие инструментария для съёмок и измерений на местности, методов и технологий составления карт; совершенствование методов составления и технологий издания карт; совершенствование методов использования карт.

История автоматизации в картографии именно так и развивается – от графопостроителей и элементарной статистики до генерализации и систем принятия решений.

Основные этапы развития методов и средств автоматизации в картографии

Начальный этап становления автоматизированной картографии как нового направления в картографии относится к концу 1950-х годов. Он обусловлен несколькими факторами, связанными с совершенствованием аппаратных средств, особенно графических, и с открытием доступа к ЭВМ, в первую очередь на Западе, не только для пользователей-математиков и системных программистов. Так, в Институте географии Вашингтонского университета период наиболее активных исследований – 1958–1961 гг. ознаменовался развитием статистических методов, программирования в целях компьютерной картографии. В. Тоблером (W. Tobler) были разработаны компьютерные алгоритмы для картографических проекций.

В 1960-х и начале 1970-х годов персональные интересы определяли направление и приоритеты исследований в области машинной картографии. Стремление к переменам зародилось в двух сообществах: среди специалистов разных научных областей, стремившихся к ускоренному составлению карт для того, чтобы отразить результаты моделирования или представить уже оцифрованные данные обширных архивов (например, таблиц переписи), при этом качество карт не имело первостепенного значения; среди картографов, стремившихся уменьшить затраты средств и времени на создание и издание карт.

Первым значительным пакетом программ для этих целей стал SYMAP, выпущенный в 1967 г. Гарвардской лабораторией машинной графики и пространственного анализа. SYMAP разрабатывался с 1964 г. как пакет программ общегеографического картографирования. Результаты выводились только на постстрочно-печатающее устройство, карты имели низкое разрешение и плохое качество. Пакет был функционально ограничен, однако прост в использовании, особенно для пользователей, не имеющих картографической подготовки. Это была первая наглядная демонстрация возможности автоматизированного картографирования, которая пробудила огромный интерес к ранее неизвестным технологиям.

В конце 1960-х годов появился пакет GRID – первый опыт растровых ГИС, в котором для вывода растровых карт использованы способы, аналогичные SYMAP, однако в нём уже были реализованы идеи оверлея.

Для работы с данными переписи населения в 1970 г. возникла потребность в методах точной географической привязки данных переписи

сей – адресное геокодирование для перевода почтовых адресов в географические координаты и привязки к переписным зонам. В результате впервые были созданы массивы цифровой пространственной информации – файлы DIME, которые позже были переведены в формат цифровых файлов границ TIGER, разработанных в Бюро переписей. Сразу после переписи 1970 г. стали создаваться атласы городов, несложные компьютерные карты которых использовались для целей маркетинга, организации розничной торговли, но в то же время стимулировали разработку современных программ статистического картографирования.

В институт исследования систем окружающей среды (ESRI), который был основан Джеком Данджермондом в 1969 г., шло постепенное развитие растровых и векторных программных систем на базе теоретических идей и методов, разработанных в Гарвардской лаборатории и других организациях. В начале 1980-х годов создана система ARC/INFO, в которой удачно реализованы идеи канадской ГИС о разделении информации, о пространственной и атрибутивной составляющих данных, выполнено соединение стандартной реляционной системы управления табличными базами данных (INFO) со специализированной программой ARC, которая позволяет манипулировать объектами, хранящимися в виде дуг. ARC/INFO стала первым ГИС- и картографическим пакетом, использующим преимущества персональных компьютеров.

Из-за высоких цен на аппаратуру интерес к новым технологиям проявляли лишь крупные картографические службы. К 1975 г. первоначальной уверенности в том, что весь процесс создания карт может быть автоматизирован, несколько поубавилось из-за сложностей, связанных с генерализацией и проектированием карт. Возрождению надежд способствовали экспертные системы, позволяющие компьютеру выбирать методику в соответствии с особенностями данных, масштабом и назначением карты, а также совершенствование периферийных графических устройств и соответствующих программных технологий для обеспечения интерактивного взаимодействия картографа с компьютером. С этим периодом связаны разработки первых автоматизированных картографических систем (АКС). Начав с простых картографических изображений, в основном картограмм, машинная картография приблизила свои возможности к традиционному картографированию. С этим периодом связана история достижений в области автоматизации в картографии в России.

Российская автоматизированная («цифровая») картография возникла в связи с необходимостью обеспечения полётов крылатых ракет

на основе цифровых моделей рельефа. В решении этой задачи участвовали не только кадровые военные, но и призванные в 1977–1978 гг. в ряды Вооружённых сил СССР гражданские специалисты. В итоге в 1992 г. вышла одна из первых книг по цифровой картографии (Жалковский и др., 1992). Работы, связанные с созданием цифровых моделей местности, проводились в Институте географии РАН под руководством А.А. Лютого. Следует отметить достижения в двух важных направлениях цифрового тематического картографирования – лесного и геологического, значительный вклад в которые внесли специалисты Всесоюзного объединения «Леспроект» (работы начались еще в 1973 г.), Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А.Л. Карпинского и ГлавНИВЦ МПР России.

Приблизительно тогда же цифровая картография получила развитие и в гражданском секторе, однако этот раздел картографии так и существовал в «параллельных плоскостях» – под эгидой Министерства обороны и в Роскартографии. Различные аспекты развития цифровой картографии в России освещались на страницах специализированных изданий, часто в форме горячих дискуссий, отражавших противостояние чиновников и сторонников внедрения рыночных отношений в сферу картографии и геоинформатики. Работы в направлении автоматизации картографии начались в научно-образовательных организациях.

Инициатором этих работ выступила кафедра геодезии и картографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. В 1976 г. по инициативе профессора К.А. Салищева (несмотря на его первоначальное неприятие в картографии автоматизации того времени) на кафедре была создана лаборатории автоматизации. Руководителем лаборатории стал С.Н. Сербенюк, приглашённый на должность доцента кафедры. На тот момент Сербенюк, только что прошедший стажировку в Германии, уже успел зарекомендовать себя как специалист в области математических методов и их применения в картографии (Сербенюк, 1972; Сербенюк, Жуков, 1973). Будучи одновременно с этим картографом-географом по образованию, глубоко понимающим суть географических явлений, он был прекрасным кандидатом чтобы возглавить направление автоматизации на кафедре.

Основной научно-исследовательский курс был взят на математико-картографическое моделирование – системное сочетание математических и картографических моделей для создания новых карт и расширения области их применения в исследовательских целях (Жу-

ков и др., 1980). Параллельно развивалось направление автоматизированного картографирования, в рамках которого разрабатывались вопросы технической реализации автоматизированных методов, информационного обеспечения создания карт, логико-математической обработки информации и автоматизированного построения картографических изображений (Сербенюк, Тикунов, 1984). В частности, были освоены две системы – для работы с изображениями «Периколор» и автоматизированная картографическая система «Графикси». Разрабатывалось собственное программное обеспечение. Усилиями сотрудников лаборатории была создана оригинальная автоматизированная картографическая система – АКС МГУ. В 1985 г. основной темой 8-й Всесоюзной конференции по тематическому картографированию по инициативе С.Н. Сербенюка стали автоматизированные технологии (Автоматизированная..., 1985). На этой конференции лаборатория автоматизации одной из первых в СССР продемонстрировала примеры компьютерных тематических карт.

Геоинформационное картографирование

За четверть века, отделяющих нас от выхода в свет двух работ – сборника статей по проблемам автоматизации в картографии и геоинформатики (Автоматизированная..., 1990) и работы С.Н. Сербенюка (1990), произошёл революционный скачок от «детства» (по выражению С.Н. Сербенюка) к зрелости автоматизированной картографии. Сменилось даже название этой отрасли картографии, причём показательно, что впервые новый термин «геоинформационное картографирование» был применён А.М. Берлянтом уже в первой из упомянутых выше работ, а в 1996 г. официально закреплён Государственным стандартом Российской Федерации (Автоматизированная..., 1990; Берлянт, 1997; Госстандарт..., 1996). Геоинформационное картографирование определялось как программно-управляемое создание и использование карт на основе ГИС и баз картографических данных и знаний, и как отрасль картографии; его суть составляет информационно-картографическое моделирование геосистем.

Наследуя достижения традиционного географического картографирования, развитие геоинформационного картографирования способствует совершенствованию ряда научных направлений совре-

менной картографии, поднимая их на более высокий технологический уровень. Широкое внедрение в географию и картографию ГИС-технологий, обеспечивающих системный подход к отображению и анализу геосистем, создание картографических ГИС-пакетов, баз данных, развитие технических средств и методов компьютерного картографирования привело к тому, что термин «автоматизация» стал ассоциироваться только с технической стороной картографии, не отражая содержательной стороны картографирования как научного процесса.

Сменился аспект автоматизированного картографирования: определились новые проблемы, новые виды и источники информации, новые программные и технические средства, способствующие решению проблем. И всё же на начальных этапах становления (во второй половине 1980-х годов) геоинформационное картографирование ещё воспринималось как процесс автоматизированного воспроизводства карт. Дальнейший этап развития связан с разработкой теории и методов создания картографических баз данных и математико-картографического моделирования, создания картографических моделей как физических явлений, например, цифровых моделей рельефа (ЦМР), так и моделей картографического изображения для представления карт на стандартных листах печатающих устройств универсальных ЭВМ. Эти разработки послужили основой для развития методов геосистемного пространственно-временного моделирования и его графического представления посредством картографической символики, что привело не только к взаимодействию, но и к отождествлению целого ряда методов и средств картографии и геоинформатики.

Основной причиной прогресса в геоинформационного картографирования с начала 1990-х годов стало возрастание доступности электронно-вычислительной техники во всём мире, и особенно персональных компьютеров (ПК). Особенно сказались повышение быстродействия ПК, значительное увеличение оперативной и дисковой памяти и повышение качества графических устройств ввода и вывода картографической информации. Появились доступные программные средства мирового уровня. При этом карты продолжают оставаться наиболее удобной формой выдачи пространственной информации потребителю, обеспечивающей наглядное представление реальности, которое, как известно, лучше любого абстрактного понятия. Карта сама представляет собой целостную информационную систему. С другой стороны, значительная часть пространственно-определённой информации

быстро меняется с течением времени, и поэтому применение средств традиционной «бумажной» картографии становится затруднительным.

Если прежде основные усилия были направлены на получение цифровых карт и обработку больших объёмов информации, то теперь, освободившись от необходимости программирования рутинных процедур управления вводом и выводом данных, картографы переключились на методы анализа, проектирования и составления, создания и использования карт в ГИС, базах данных и знаний, экспертных системах. Кроме того, ясно, что однажды созданный массив цифровых пространственно-определённых данных можно использовать, помимо составления карт, и для других целей, он имеет дополнительную ценность. Однако крупные фирмы-производители программных ГИС-продуктов, такие как ESRI, ERDAS, INTERGRAF, предоставили свои пакеты бесплатно или с большими скидками целому ряду научных и образовательных организаций, что сыграло в геоинформационном картографировании и создании ГИС и положительную и отрицательную роль. С одной стороны, это способствовало скорейшему освоению ГИС-технологий на современном уровне, позволило быстрее увидеть и оценить перспективы. С другой – это явление существенно затормозило процесс создания полных отечественных ГИС-продуктов, в теоретических разработках и в программном обеспечении отдельных модулей которых (особенно для моделирования) были уже достигнуты значительные результаты на начальных стадиях развития геоинформационного картографирования. При этом главной задачей геоинформационного картографирования остаётся создание карт как образно-знаковых моделей действительности; её решение связано с применением стандартных и разработкой новых методов картографирования на их основе.

Разные виды и типы цифровых данных требуют разработки методов их совместного использования, оценки пригодности для составления карт. Поэтому теперь важно создание проблемно-ориентированных баз географических и картографических данных и знаний, которые способствуют не только накоплению и обмену информацией, но и повышению качества и достоверности картографирования.

Особенно возрастает роль таких баз пространственных данных (БПД) и картографических данных (КБД) для пространственного и тематического согласования информации при создании комплексных электронных атласов и карт в ГИС. Ключевую роль здесь играют опыт географической картографии и методы географического анализа. Соз-

даваемые математико-картографические модели способствуют развитию возможностей исследования географического распространения объектов и явлений, представленного дискретной информацией, путем её аппроксимации непрерывной поверхностью. Картографический результат зависит от применяемых технологий и от полноты отображения в этой дискретной информации географических закономерностей.

Особое направление исследований в геоинформационном картографировании – вопросы автоматической генерализации, остающиеся приоритетным и далёким от завершения, несмотря на то, что на его разработку были направлены усилия ведущих специалистов. Несомненно, определённые достижения имеются, особенно в области «геометрической» генерализации. Развитие пользовательского интерфейса в ГИС-пакетах позволит опытному картографу решать задачу в интерактивном режиме, редактируя изображение на экране по картографическим правилам генерализации геометрии и содержания. Совершенствование программного и технического обеспечения определяет и дальнейшее продвижение в области использования данных дистанционного зондирования в качестве одного из основных источников информации для ГИС и геоинформационного картографирования, особенно для оперативного и динамического картографирования.

Для геоинформационного картографирования важно не только автоматизированное воспроизводство картографического изображения, но и автоматизация исследований по картам. Устройства графического вывода данных – экраны мониторов – позволяют автоматизировать процесс проектирования и составления карт. И всё же востребованными остаются создание компьютерной карты и печать картографических изображений (например, для обеспечения географического образования). Всё больше внимания уделяется применению картографических принципов оформления, моделированию цветных шкал, знаковых систем, формированию картографической семиотики. Теперь геоинформационное картографирование трактуется как картография на основе баз данных, т.е. карта – результат обработки и визуализации данных, организованных и структурированных в виде базы географических данных. Основной вид её визуализации – электронная карта, создание которой зачастую считается несложной интерактивной процедурой визуализации слоёв БД, реализуемой «на лету», забывая при этом, что такая карта должна оставаться элементом географического познания. Изображение и составление карт в геоин-

формационном картографировании должно многое позаимствовать из принципов традиционной картографии, однако ГИС-технологии открывают абсолютно новые возможности в этой области. Картографические изображения на экране обладают рядом преимуществ, которых нет в традиционном картосоставлении: возможностью быстро строить разные варианты, преобразовывать системы координат, создавать трёхмерные изображения и динамические фильмы и т.п. Это новое средство моделирования реальной действительности. В то же время, интерактивный способ, позволяющий сочетать различные принципы обработки, редактирования и корректуры, ручная генерализация с учётом взаимосвязей явлений и объектов связаны с эффективностью использования опыта и знаний картографа.

Картографические сервисы и веб-картография – современный этап геоинформационного картографирования

Осмысление и освоение новых картографических и технологических возможностей, и прежде всего, Интернет-технологий привели к серьёзнейшей перестройке геоинформационной картографии начиная с середины 2000-х годов. В последние годы их развитие всё в большей степени стало позволять использовать новые средства получения информации, в том числе и пространственной. Родилась Веб-картография (Дубинин, Костикова, 2008).

Веб-картография – это область компьютерных технологий, связанная с доставкой пространственно-определённых данных конечному пользователю. Она является одним из направлений геоинформационных технологий, в том числе и геоинформационного картографирования.

С термином Веб-картография связано понятие картографического Веб-сервиса, который будучи опубликованным на сервере, может быть использован в качестве слоёв на цифровых картах. Это могут быть как слои карты-основы, базовой карты, которые служат географическим контекстом для тематической информации, отображаемой в других слоях, так и слоями, объекты в которых могут быть отредактированы или изменены с помощью автоматизированных инструментов геообработки на ГИС-сервере.

К основным задачам веб-картографии можно отнести визуализацию информации, т.е. пространственное представление информации, а также

обеспечение работы с пространственной информацией в сети, поиск объектов интереса, прокладку маршрутов и нахождение местоположения.

Начало интенсивного развития Веб-картографии обычно связывают с появлением в 2005 г. двух глобальных картографических сервиса компании Google – Google-Maps и Google-Earth. На ранних этапах становления Веб-картографии большинство сервисов были локальными и тематически узко направлены, т.е. ориентированы на визуализацию локального участка земной поверхности, что ограничивало круг пользователей таких сервисов. В сервисах Google был использован принципиально новый подход в организации самого сервиса: вместо классического подхода, в котором пользователь посылает запрос на сервер, ждёт обработки и получает обратно сгенерированную «на лету» картинку, все данные подготавливаются и обрабатываются заранее, что позволяет добиться быстрой работы с картами и «бесшовности» данных при навигации.

Чёткое понимание перспектив сети Веб привело к тому, что крупные компании производители программного обеспечения ГИС (ESRI, Intergraph) принимают решение о разработке специальных коммерческих приложений для создания специального программного обеспечения для Веб-ГИС. Однако в силу ограниченной пропускной способности мало кто мог представить, до каких масштабов может разрастись Веб-картография.

Последующие годы вплоть до настоящего времени характеризуются поистине колоссальным интересом к Веб-картографии и её возможностям в целом, а также значительным ростом числа сервисов, в той или иной форме использующих картографические Веб-технологии. Самыми важными тенденциями служат появление большого числа бесплатных проектов реализующих концепцию предоставления предобработанных данных; увеличение возможностей интеграции собственных данных с существующими сервисами; глобальность сервисов; всё большая интеграция таких служб в повседневную жизнь. Среди них можно выделить две: 1) виртуальные глобусы (Google Maps, Google Earth, Virtual Earth, ArcGIS Explorer) – простое и эффективное средство быстрого создания и публикации данных в Интернет. В качестве «клиента» здесь выступают как Веб-браузер, так и отдельное приложение; 2) картографические Веб-серверы (MapServer, GeoServer, OpenLayers и др.) – целое семейство продуктов свободного и проприетарного характера, предназначенных для быстрой публикации пользовательских данных в сети. Эти инструменты позволяют создать интерфейс, интегрировать сервис

с базой геоданных, поддерживающей классы пространственных данных (PostgreSQL, SQL Server, MySQL, ArcSDE).

Общие принципы и стандарты в области разработки программного обеспечения, предоставляющего картографические Веб-сервисы, разрабатываются и декларируются международной некоммерческой организацией Open GIS consortium (OGC, <http://www.opengeospatial.org>). В OGC представлены наиболее крупные коммерческие, академические и государственные организации, занимающиеся разработкой или исследованиями в области развития и разработки геоинформационного или ИТ ПО (в том числе такие крупнейшие корпорации как Oracle, ESRI, MapInfo, Intergraph, Google. Одной из первых разработок OGC были стандарты созданию GML – Geography Markup Language – языка группы XML, предназначенного для описания географически привязанных объектов.

Развитие концепции открытости, как и многие другие процессы в современном компьютерном мире, получившие развитие благодаря успехам Интернета, не обошло стороной и пространственные данные. Как и в случае программного обеспечения, открытые базы пространственных данных противопоставили себя крупным корпорациям вкладывающим большое количество ресурсов в системы сбора данных и имеющим обыкновение продавать одни и те же наборы по несколько раз. Появление в открытом пользовании базы OpenStreetMap привело к тому, что включиться в работу над общей картой теперь может любой, не выходя из дома.

Сейчас существуют разные варианты публикации пространственных данных в сети Интернета: от простой публикации share-файла на картографическом сервисе типа Яндекс-карты до создания сложных геопорталов, которые развёртываются с применением специального программного обеспечения – ГИС-серверов. ГИС-серверы, кроме отображения пространственно определённых данных, предоставляют различные возможности для их обработки и анализа. Кроме того, ГИС-серверы имеют средства для разработки программных приложений (приложений для мобильных телефонов и смартфонов, настольных приложений для ПК, Веб-приложений).

Другой вид сервисов – Сервис геоданных позволяет получать доступ к базе геоданных через локальную сеть или Интернет через подходящий ГИС-сервер. Сервис предоставляет возможность для выполнения операций по репликации базы геоданных, создания копий с помощью извлечения данных и выполнения запросов в базе гео-

данных. Сервисы геоданных полезны в тех случаях, когда необходимо получить доступ к базам геоданных в удалённых местах. Эти возможности открывают широкие перспективы для Веб-картографирования и в первую очередь важнейшего для географов – тематического Веб-картографирования. Примером может служить картографическое Веб-приложение с набором карт эколого-географической тематики для территории Новой Москвы, размещённое на Геопортале МГУ (<http://www.geogr.msu.ru:8082/api/index.html?Y45KN>).

Развитие Веб-картографии является следствием большого интереса к пространственным данным и результатам их анализа и обработки. Сегодня нет более эффективного способа интеграции и публикации разнородной пространственной информации, чем геопортальные решения. Следует ожидать, что у Веб-картографии, помимо простой визуализации и создания данных, наиболее бурно будет происходить перенос в сеть процессов обработки и анализа данных (Рогачев, 2013). Развитие системы распределенной обработки данных в Сети ("облако вычислений") открывает широкие перспективы всем технологиям, связанным с большими объёмами данных (картографических, баз пространственных данных, данных дистанционного зондирования Земли), и не только в области доставки этих данных конечным пользователям.

Теоретические проблемы и базовые концепции классической и современной геоинформационной картографии в России, а также инновационные технологии географического картографирования – основная цель научных исследований кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, продолжающей и развивающей традиции университетской школы географической картографии, восходящие к К.А. Салищеву (1978). Основные достижения университетской школы и её роль в развитии классических и геоинформационных методов системного географического картографирования обобщены в монографии (Берлянт и др., 2008).

Картографическое образование

За последние 25 лет существенный прогресс достигнут и в постановке системы картографического образования. В университетские программы введён блок новых учебных дисциплин и новая специализация «Геоинформатика и геоинформационное картографирование»:

Блок включает теоретические и практические вопросы геоинформатики, геоинформационного картографирования, теории баз данных, компьютерной графики и обработки изображений, математико-картографического моделирования, цифровой фотограмметрии, картографии и телекоммуникации.

Обучение созданию и использованию карт – один из наиболее творческих и трудно формализуемых процессов познания. И здесь велика роль традиционных бумажных карт. Развитие геоинформационного картографирования предполагает взаимодействие картографов со специалистами, работающими в области геоинформатики, компьютерной графики, дистанционного зондирования. Овладевая новыми методами геоинформационного картографирования, будущие специалисты-картографы должны опираться на законы традиционного составления карт, на знания, полученные в курсах «Картография», «Картографический метод исследования», «Проектирование и составление карт», «Оформление карт». С другой стороны, знание картографами не только правил работы с ГИС-пакетами, но и алгоритмов выполнения хотя бы стандартных процедур, возможностей технических и программных средств, позволит повысить уровень геоинформационного картографирования. Сочетание традиционных и компьютерных технологий позволит готовить специалистов, действующих не только по подсказке авторов программных разработок. Примером реализации такого подхода служит одно из первых учебных пособий «Автоматизация в тематической картографии» (Сербенюк, Тикунов, 1984). В связи с переходом образования на новые стандарты школой университетской географической картографии разработана инновационная концепция, базирующаяся на интеграции картографии, геоинформатики и аэрокосмических методов исследования (Берлянт и др., 2009).

Литература

- Автоматизированная картография и геоинформатика. Материалы к науч. конф., посвященной 50-летию профессора С.Н. Сербенюка. М., 1990. 134 с.
- Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. М.: 1997. 64 с.
- Берлянт А.М., Книжников Ю.Ф., Кривонова В.И., Лурье И.К., Тикунов В.С. Университетская школа географической картографии. Базовые научные концепции и технологии / Географические научные школы Московского университета. М.: Издательский Дом «Городец», 2008. С. 472–515.

- Берлянт А.М., Лурье И.К., Тутубалина О.В., Чалова Е.Р. Концепция университетского инновационного географо-картографического образования // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2009. № 2. С. 6–12.
- Государственный стандарт Российской Федерации «Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования» (ГОСТ Р 50828-95). М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996.
- Дубинин М.Ю., Костикова А.М. Веб-ГИС/Компьютерра, № 749. 2008.
- Жалковский Е.А., Жданов Н.Д., Халугин Е.И. Цифровые карты / Под ред. Е.И. Халугина. М.: Недра, 1992. 419 с.
- Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование в географии. М.: «Мысль», 1980. 224 с.
- Рогачев С.А. Веб-картография. Представление разнородной пространственной информации / Тр. СПИИРАН. 2013. Вып. 6 (29). Issn 2078-9181 (печ.)
- Салищев К.А. Проектирование и составление карт. М.: Изд-во МГУ, 1978. 238 с.
- Сербенюк С.Н. Применение моделей факторного и компонентного анализа для картографирования географических комплексов. Калинин: Изд-во КПИ, 1972. 92 с.
- Сербенюк С.Н. Картография и геоинформатика – их взаимодействие / Под ред. В.А. Садовниченко. М.: Изд-во МГУ, 1990. 159 с.
- Сербенюк С.Н., Жуков В.Т. Применение математико-статистических моделей для картографирования географических комплексов. Калинин: Изд-во КПИ, 1973. 144 с.
- Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Автоматизация в тематической картографии. М.: Изд-во МГУ, 1984. 112 с.

I.K. Lurie

DIGITAL AGE IN CARTOGRAPHY: FROM AUTOMATION TO MAP SERVICES

The article presents an overview of the development of cartography in retrospect of the change of technological paradigms and scientific concepts of the late 20th and early 21st century. The way of development of technological innovations in cartography from analog methods of automation to web-cartography is analyzed. The leading role of the Department of Cartography and Geoinformatics of Moscow University in methodical support of innovative technologies developed within the framework of automation in cartography and geoinformation mapping is shown.

А.В. Кошкарёв

КАРТОГРАФИЯ В ЭПОХУ ИНФРАСТРУКТУР ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Введение

Создание инфраструктур пространственных данных (ИПД) – одно из самых важных направлений развития геоинформатики на базе информационно-коммуникационных технологий, этап её новейшей истории, эпоха интеграции данных. Интеграционные процессы, предпосылкой и условием для углубления которых служит общая цифровая среда их существования, затрагивают, по крайней мере, три сферы научной, производственной и образовательной деятельности: собственно геоинформатику, картографию и дистанционное зондирование.

Цель статьи – понять, как менялась, меняется и изменится роль картографии в цифровом, в значительной мере «бумажном», мире. Возможны две точки зрения на её будущее: от полного отрицания «бумажных» и других аналоговых карт, обречённых на вымирание вместе с картографией, до эволюции в новых технологических условиях и адаптации к нуждам и вызовам времени. Первая принадлежит апологетам «неогеографии», вторая опирается на успешный многолетний опыт развития цифровых методов описания, моделирования и изучения пространства в наиболее яркой и многообещающей форме ИПД.

Напомним, что существуют три типа моделей пространства, непосредственно используемых человеком (Комедчиков и др., 2013): 1) традиционные «бумажные» карты и иные геоизображения, унаследованные от доцифровой эпохи; 2) цифровые модели, в том числе цифровые карты и геонформационные системы (ГИС), оперирующие пространственными данными; 3) ментальные (мысленные) модели, отражающие пространственные отношения в человеческом мозге или в уме любого другого мыслящего существа.

При этом нельзя забывать о метафоричности термина «цифровая карта», поскольку она не обладает важнейшим свойством карты – доступностью для восприятия визуально или тактильно. И традиционные, и цифровые карты – не самоцель, а средство для создания мысленной модели пространства, посредник между человеком и окружающим

миром. Ментальные «карты» – малоисследованный феномен, интерес к которым, как следует предполагать, будет расти в связи с перспективами создания интерфейса «человеческий мозг – компьютер» в преддверии очередной научно-технической революции. Следует полагать, что в будущем роль картографии и карт как интерфейса между реальностью и пользователем (или мыслящим автоматом) будет расти.

Подчеркнём важное свойство цифровых, в данном случае пространственных, данных: их полиморфизм, то есть возможность преобразования в иные формы, адекватно отражающие и выражающие пространственные (геометрические и топологические) свойства объектов цифрового моделирования. Это карты, «бумажные» аналоговые, цифровые и электронные; иные формы картографических изображений, легко встраиваемые в композиционные, например, мультимедийные продукты, в том числе в электронные атласы; гибриды с аэрокосмическими изображениями на основе обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ); геоизображения, передающие объёмность её поверхности с привлечением инструментов цифрового моделирования рельефа.

Немного истории

Роль картографии в современном мире нельзя понять и оценить вне учёта общих технологических сдвигов, прорывов и «революций» второй половины прошлого века. Главная из них – информатизация экономики, общества в целом, в свою очередь, связанная с их компьютеризацией. Принимая во внимание тот факт, что цифровые компьютеры навсегда вытеснили их аналоговые «аналоги» (аналоговые вычислительные машины) ещё в 1970–80-х годах, этот период можно считать началом цифровой эры или эпохи.

Принято считать, что первые эксперименты в области цифровой картографии и геоинформатики относятся к началу 1960-х годов. В ту эпоху попытки автоматизации картографирования в рамках новых информационных технологий хорошо укладывались в концепцию безбумажной технологии акад. В.М. Глушкова. Считается, что первые автоматизированные картографические системы (АКС) были созданы в 1964 г. В 1970–80-е годы были успешно реализованы программы цифрового картографирования, разработаны универсальные полнофункциональные программные средства ГИС. В 1990-е годы в

развитии цифровой картографии и геоинформатики появляется ряд новаций, обязанных своим появлением цифровой, а затем и сетевой среде получения, обработки и использования пространственных данных. Можно упомянуть «киберкартографию» – термин, введённый в 1997 г. канадским картографом Ф. Тэйлором, обозначающий интерактивную и мультимедийную картографию будущего. К тому времени в широкую практику вошли электронные карты и атласы.

Первый из электронных атласов – Атлас Арканзаса – был продемонстрирован ещё в 1987 г. на Международной картографической конференции в Мексике. Как обобщение, с учётом не только чисто визуализационных, но и аналитических функций таких атласов, Ф. Ормелинг (Ormeling, 1995) предложил концепцию «атласных информационных систем». Когда стало ясно, что назрела необходимость не только хранить и умножать цифровые пространственные данные, но и описывать, каталогизировать накопленные информационные ресурсы, обеспечивать доступ к ним для их повторного использования, на стыке картографии и геоинформатики родилась метафора электронных библиотек («геобиблиотек»). Это стало возможным с появлением и распространением Интернета, что дало новый импульс развитию цифровых методов и информационных систем, включая геоинформационные системы, получившие, в случае их миграции в сетевую среду, название «веб-ГИС». Интеграция цифрового картографирования и ГИС с развитыми визуализационными функциями породило новое направление в картографии – геоинформационное картографирование (Лурье, 2016).

В 1990-е годы получило развитие средства веб-картографирования, выполнены первые эксперименты в области создания инфраструктур пространственных данных. Первой из национальных ИПД, положившей начало перехода от эпохи ГИС к эпохе ИПД, является ИПД США NSDI, созданная в соответствии с Распоряжением Президента США У.Д. Клинтона от 13 апреля 1994 г. и реализованная в полном объёме в 2000 г. Дальнейшее её развитие можно проследить в документах Федерального комитета по географическим данным США FGDC (The Federal Geographic Data Committee), а также узнать о её теперешнем состоянии (<http://www.fgdc.gov>). Примером глобального веб-картографирования может служить «Цифровая Земля» (Digital Earth) как идея, выдвинутая в 1998 г. вице-президентом США А. Гором, позже реализованная в форме веб-сервисов, получивших распространение в 2000 годы: NASA World Wind, Google Earth, Microsoft's Bing Maps, Esri's ArcGIS Explorer.

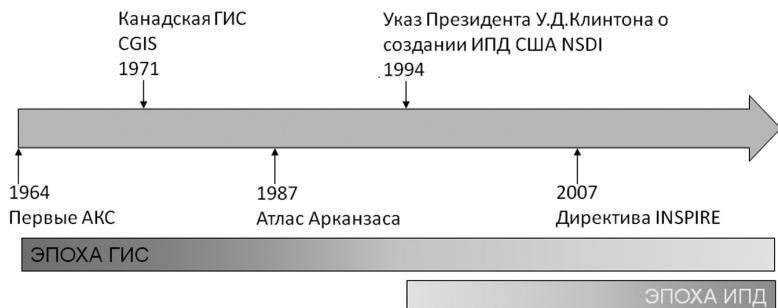


Рис. 1. Эпоха инфраструктур пространственных данных (Кошкарев, 2010)

Из российских примеров можно упомянуть программу «Электронная Земля: научные информационные ресурсы и информационно-коммуникационные технологии», разрабатываемую с 2004 г. в рамках Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 21 «Разработка фундаментальных основ создания научной распределенной информационно-вычислительной среды на основе технологий GRID» (<http://earth.viniti.ru>). Из её узлов в настоящее время, в частности, функционирует портал «География» Института географии РАН с электронными атласами, картами и наборами пространственных данных: <http://www.webgeo.ru>. Существовала и другая концепция – «Электронная Земля» А.И. Мартыненко (Мартыненко, 2002), сходная по своей сути с «Цифровой Землёй». Цифровые пространственные данные становятся неисчерпаемым источником сюжетов для картографирования. В 2007 г. вступила в силу Директива INSPIRE, столь же эпохального документа, как и указ У.Д. Клинтона, намечающей пути создания европейской ИПД по одноимённой программе.

Резюмируя, можно предложить следующую периодизацию развития геоинформатики, а заодно и картографии, учитывая тесную «генетическую» связь двух самостоятельных наук, технологий и индустрий (рис. 1).

Конец картографии?

История убедительно показывает, что роль картографии и карт в современном цифровом мире неуклонно растёт, приобретая новые формы цифрового тематического компьютерного картографирования,

геоинформационного картографирования, веб-картографирования, электронного картографирования в условиях интеграции ГИС, ДЗЗ и картографии. Тем не менее, существует точка зрения, что карты и ГИС утратили свои преимущества с появлением высоко детальных цифровых снимков из космоса, что означает конец картографии как науки, технологии и производства. По мнению обывателя, сверху, из космоса, видно всё, и оттуда, с борта космического аппарата можно посчитать звёзды на погонах и разобрать заголовки газет. А ещё он абсолютно уверен в том, что космический снимок гораздо точней и подробней самой детальной карты. Увы, так полагает не только обыватель, но и «неогеографы» во главе с Эндрю Тернером, автором нашумевшей книги «Основы неогеографии» (Turner, 2006). В одной из своих статей Э. Тернер предрекает конец ГИС, а заодно и картографии (Turner, 2009).

Ранее мы уже писали о том, что его учение, в его российской интерпретации, основано на трёх принципах: 1) использование географических, а не картографических, систем координат; 2) применение растрового, а не векторного представления географической информации в качестве основного; 3) использование открытых гипертекстовых форматов представления геоданных (Комедчиков и др., 2013). Ничего нового в них нет. Программные средства ГИС с незапамятных времён могли хранить данные с координатным описанием объектов в терминах широты и долготы, а перерасчёт или трансформирование координат из одной координатной системы отсчёта в другую не представляет никакой проблемы.

«Неоспоримые» преимущества растровой модели пространственных данных по сравнению с векторными тоже представляются крайне сомнительными, каждая из них хороша для определённых целей, и моделей данных вне этой пары моделей пространственных данных, якобы альтернативных, найдётся немало. Гипертекстовый формат хранения – тоже не новость и не изобретение неогеографов: любой сайт, любой портал, любой геопортал, то есть всё, что есть в вебе, это гипертекст. Точно такие же контраргументы приведены в статье А.В. Железнякова (2009). В.В. Куртеев приходит к аналогичным выводам: «продекларированные характерные отличия подхода неогеографии от векторной ГИС-технологии, такие как преимущественное использование растрового представления, использование географических, а не проективных систем координат свидетельствуют только об отсутствии у авторов концепции опыта практической работы в

сфере геоинформатики» и в целом «декларируемая «новизна» при ближайшем рассмотрении таковой не является» (Куртеев, 2010).

Таким образом, три основополагающих принципа российской неогеографии не новы и спорны, а её достижения крайне скромны и ограничены широковещательными декларациями, что подтверждает содержание сайта её апологетов (<http://www.neogeography.ru/rus>). Обстоятельный анализ феномена «неогеографии» можно найти в работе А.М. Берлянта (2009). Общее критическое к ней отношение, с которым почти полностью можно согласиться, выражено им так: «Когда дело уже запущено и идет его раскрутка, появляются сторонники и энтузиасты, продолжатели и простые спекулянты, а также ниспровергатели прошлых, устаревших, по их мнению, традиций. Эти особенно усердны, они не жалеют слов, доказывая, что новый продукт не просто хорош и полезен, но – самое главное все, что было до сих пор, плохо, даже очень плохо, его надобно отбросить, срочно обратившись к новым достижениям и исключительно к ним» (с. 23).

Среди последователей неогеографии нужно упомянуть и сторонников «неокартографии». Комиссия по неокартографии при Международной картографической ассоциации функционировала в 2011–2015 гг. Её блог доступен по следующей ссылке <http://neocartography.icaci.org>.

Тем не менее, тема неогеографии обросла многочисленными пу-стопорожними публикациями в российской научно-технической ли-тературе. Есть сайт, посвящённый ей (<http://neogeography.ru>). Столь же бессодержательны рассуждения Е.Н. Еремченко на этом сайте, например, о связи неогеографии с метакартосемиотикой в рамках одноимённой исследовательской программы (<http://neogeography.ru/rus/news/articles/neogeography-wiew-to-semiotic.html>). Непродуктивны и попытки увязать неогеографию с «Цифровой Землёй» (самостоятельной программой и одноимённым научным сообществом), со ссылками на непосредственное беззнаковое визуальное воспри-ятие окружающего мира, которое дают нам космические снимки и веб-сервисы на их основе как единственно верной альтернативе традиционной картографии и ГИС, отживших свой срок (Тикунов, Еремченко, 2015). Известны и другие статьи, «притянутые за уши» к неогеографии без всяких к тому оснований или пытающихся найти в ней один из путей развития картографии путем построения «единого геоинформационного пространства» на традиционных принципах неогеографии (Кацко, 2013).

Знамя «неогеографов» – сервис веб-картографирования Google Earth («Земля Гугла»). Однако флаг западных приверженцев неогеографии – это OpenStreetMap (<http://www.openstreetmap.org>), открытый продукт, неустанно и целеустремлённо создаваемый и обновляемый индивидуалами-волонтёрами, и другие «народные карты» как альтернатива аналогичным корпоративным или официально-государственным продуктам и сервисам. Но с точки зрения «просто» географии, картографии и геоинформатики как наук это маргинальное направление, которое явно в стороне от мейнстрима.

Приходится признать: неогеография – пустое слово, и рассуждения на эту тему в научной и околонуучной литературе столь же пусты и непродуктивны, находясь на грани лженауки.

Карты на геопорталах инфраструктур пространственных данных

Более 20 лет назад эпоха геоинформационных систем сменилась эпохой инфраструктур пространственных данных, что означает коренной сдвиг в технологиях управления ресурсами пространственных данных. Ещё в начале 1990-х годов были созданы все необходимые предпосылки и условия для перехода к новому этапу, новым формам и механизмам организации и управления пространственными данными, накопленными за почти 50-летний период освоения, внедрения и широкого использования геоинформационных технологий, создания геоинформационных систем различного территориального охвата, назначения и тематики. Как упоминалось выше, осознание необходимости в таком механизме привело к первым экспериментам в области инфраструктур пространственных данных в начале 1990-х годов, когда в США, Канаде, Австралии и некоторых европейских странах были разработаны долгосрочные программы создания национальных инфраструктур пространственных данных как информационно-телекоммуникационных систем, объединяющих национальные ресурсы пространственных данных (геоинформационные ресурсы).

За период с начала работ по проектированию и созданию ИПД, уже почти 20-летний, вполне определились проверенные на практике правила, процедуры и механизмы ИПД как информационно-телекоммуникационной системы для управления межнациональными, национальными, региональными и локальными ресурсами цифровых

пространственных данных, создающие правовые, нормативно-технические и организационные условия для их эффективного многократного использования в сетевой среде (Кошкарев, 2011).

В архитектуре ИПД принято выделять несколько компонентов: нормативно-правовую и организационную основу, базовые пространственные данные, стандарты и геопорталы для обеспечения доступа к распределённым ресурсам пространственных данных и их визуализации. Одним из ключевых элементов ИПД являются геопорталы – инструменты для поиска, отыскания, приобретения и использования пространственных данных, площадки для взаимодействия производителей (правообладателей) пространственных данных и их пользователей, средства распространения данных и обмена ими, единые точки входа в сеть серверов, средства доступа к распределённым ресурсам пространственных данных, геосервисов и геоприложений. Поиск – главная, но не единственная их функция. Вторая по важности функция – визуализация данных, преимущественно в картографической форме. Геопорталы (поисковые, визуализационно-поисковые и визуализационные) служат одной из платформ для публикации наборов пространственных данных и карт в Интернете (Кошкарев, 2008, 2009). Геопорталы принято делить согласно классификации ИПД, среди которых выделяют межнациональные, национальные и субнациональные ИПД. К последним из них принадлежат региональные, например, г. Москвы (Антипов и др., 2013), межрегиональные и локальные ИПД, а также их агрегаты или иные территориальные общности вне вертикали административно-территориального деления. Существуют и развиваются ведомственные, тематические, научно-образовательные (Кошкарев, Ротанова, 2014) и корпоративные геопорталы.

В 1990-х годах признанным лидером в этой области были США, но с середины нулевых всё более серьёзное внимание стали привлекать европейские инициативы, как национальные, так и международные. Это, прежде всего, программа INSPIRE Европейского союза (Infrastructure for Spatial Information in Europe), которая обрела окончательные черты с утверждением в 2007 г. Директивы INSPIRE (Директива 2007/2/ЕС Европейского парламента и Совета Европы от 14 марта 2007 г.), объединяющая усилия и ресурсы его стран-участниц (Кошкарев, 2014а).

Текст Директивы интересен тем, что она достаточно детально специфицирует минимальный набор функций геопортала, в том числе возможностей отображения данных, прежде всего в картографиче-



Рис. 2. Геопортал ИПД Эстонии Eesti geoportaali (<http://inspire.maaamet.ee/map>)

ской форме. В 4-й главе Директивы «Сетевые сервисы» содержатся минимальные требования к визуализации данных на геопорталах INSPIRE, в той или иной форме и объёме повторенные в национальном законодательстве стран Евросоюза. Они должны обеспечивать возможность «просмотра данных, навигации по изображениям, их скроллинга, масштабирования и графического оверлея данных, а также отображения легенд карт и соответствующей информации, содержащейся в метаданных» (Directive..., 2007). Более подробно они рассмотрены нами в работе (Кошкарев, 2014б).

Для реализации функций управления визуализацией на стороне сервера обычно служит визуализатор, свободно распространяемое или коммерческое программное средство. Его традиционный вид представлен на рис. 2. Главная панель визуализатора – поле картографического (гибридного и иного) изображения с инструментальной линейкой за его верхней или боковой рамкой; боковую панель занимает список доступных и отображаемых слоёв данных или WMS-клиентов (средств доступа к внешним информационным ресурсам, используя спецификацию консорциума OGC, Inc., касающуюся реализации сервиса веб-картографирования) и/или легенда карты.

В целом типовой геопортал должен обеспечивать возможность управления следующими параметрами визуализации: масштабом, компоновкой, исходными геодезическими датами, координатной системой отсчёта, картографической проекцией, легендой, набором слоёв, картографическими знаками. Разумеется, что по своей функциональности в

части управления картографическими изображениями инструментарий геопорталов уступает тем, что доступны в программных средствах веб-картографирования и ГИС в настольном, а не в сетевом исполнении.

Заслуживает внимания рекомендации, обобщающие опыт разработки геопорталов Испании, прямо или косвенно относящихся к управлению картографическим изображением (Rodríguez et al., 2009), среди них: стандартизация интерфейса взаимодействия клиента и сервера, полностью соответствующего спецификации WMS консорциума OGC, Inc. и стандарту ISO 19128; возможность вызова внешних WMS-сервисов; неограниченность пространственного охвата (экстента); поддержка различных координатных систем отсчёта (WGS-84 и т.п.) и управление ими; совместимость используемого визуализатора с текущими стандартами и их версиями, включая OGC-WMS, OSGEO WMS-C, WMST; обеспечение приемлемого времени отклика; отсутствие логотипов или водяных знаков в поле изображения; наличие подробного руководства пользователя; поддержка набора базовых и расширенных сервисов, служб каталогов и газеттиров, других сервисов, связанных с визуализацией.

Достаточно продвинутые функции картографической визуализации можно найти среди веб-атласов как составных элементов ИПД или самостоятельных информационных онлайн-веб-ресурсов. Среди них: Национальный атлас США (<http://www.worldmap1.com>), Национальный атлас Канады (<http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/index.html>), веб-атлас Баварии (<http://www.bayernatlas.de>), и многие другие.

Все новые формы картографической видеоэкранный графики наследовали (имитировали) черты традиционных карт, насколько это позволяли технические и программные решения своего времени. Новые технологии не привели к коренному изменению языка и облика карт. «Новинки», появившиеся на компьютерном витке развития картографии, немногочисленны: безынтервальные картограммные шкалы, анаморфозы, «безлегендные» карты в СМИ и в мобильных устройствах. Из этого вытекает два важных вывода, которые нужно учитывать при проектировании картографических веб-сервисов: 1) сохранение традиций при реализации новых информационно-телекоммуникационных технологий; 2) использование их несомненных преимуществ: оперативности, многовариантности, мультимасштабности и юбиквитности (вседоступности) карт, существенно расширяющих возможности пользователей и их аудиторию. Адекватным и эффективным инструментом для этого может служить визуализационный или визуализационно-поисковый геопортал ИПД.

Заключение

Цифровая эпоха открыла новые возможности моделирования и анализа пространства, в том числе его картографирования. К новым свойствам карт, определяющим их сегодняшний облик, как показывают примеры из практики, относятся оперативность, мобильность, доступность всегда и всюду («юбиквитность»), функциональность (наличие средств управления картографическим изображением), интерактивность, мультимедийность, распределённость (существование картографических данных и сервисов в распределённой сетевой среде), «полиморфизм» (возможность генерации из одного набора цифровых данных множества производных карт и некартографических данных), многовариантность (возможность на одном и том же множестве данных генерировать неограниченный набор одноимённых картографических сюжетов), адаптивность, многомерность, полимасштабность или мультимасштабность (возможность генерации из единого и единственного набора данных изображений разной детальности), виртуальность (десимволизация: возможность генерации виртуально-реальных изображений, а также гибридов символьных, т.е. собственно карт и реалистичных изображений).

Будущее готовит картографии новые вызовы в условиях необходимости работы с «большими данными» не только в традиционной сетевой, но и облачной среде, интеллектуализации анализа данных. Геопорталы ИПД и другие площадки веб-картографирования становятся одним из технологических средств генерации необозримого множества карт, обеспечивая их эффективное использование в разнообразных областях, сферах деятельности, в быту.

Литература

- Антипов А.В., Кошкарев А.В., Потанов Б.В., Филиппов Н.В. Единое геоинформационное пространство города Москвы как составная часть инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации. Часть 1 / Под ред. А.В. Антипова. М.: ООО Издательство «Проспект», 2013. 224 с.
- Берлянт А.М. «Неогеография» в картографии – инновации и спекуляции // Геодезия и картография. 2009. № 5. С. 23–27.
- Железняков А.В. ГИС «Карта 2008» и неогеография // Геопрофи. 2009. № 4. С. 38–41.

- Кацко С.Ю. Неогеография и картография // Интерэкспо Гео-Сибирь-2013. № 2. Т. 1. Новосибирск: СГГА, 2013. С. 102–106.
- Комедчиков Н.Н., Кошкарев А.В., Медведев А.А. Академическая инфраструктура пространственных данных и новый этап развития геоинформатики // Информатизация географических исследований и пространственное моделирование природных и социально-экономических систем. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2013. С. 57–72.
- Кошкарев А.В. Геопортал как инструмент управления пространственными данными и геосервисами // Пространственные данные. 2008. № 2. С. 6–14.
- Кошкарев А.В. Геопорталы и карты эпохи инфраструктур пространственных данных // ИнтерКарто / ИнтерГИС 15: развитие территорий: Теория ГИС и практический опыт // Материалы междунар. конф. Пермь, Гент, 29 июня – 5 июля 2009 г. Т. 1. С. 242–246.
- Кошкарев А.В. От компьютерной картографии к инфраструктурам пространственных данных // Геоинформационное картографирование в географии и геоэкологии. Воронеж: Истоки, 2010. С. 20–34.
- Кошкарев А.В. Инфраструктуры пространственных данных: текущее состояние и проблемы. Российский и зарубежный опыт // Охрана окружающей среды и природопользование. 2011. № 3. С. 37–47.
- Кошкарев А.В. Европейская программа INSPIRE и российские инициативы в области ИПД: критический анализ // Инфраструктура научных информационных ресурсов и систем. Сб. избранных научных статей. Тр. Пятого Всерос. симпозиума (СПб., 6–8 октября 2015 г.) / Под ред. Е.В. Кудашева, В.А. Серебрякова. В 2 томах. Т. 1. М.: ВЦ РАН, 2014а. С. 192–205.
- Кошкарев А.В. Картографическая визуализация на геопорталах ИПД // Геодезия, картография и маркшейдерия: Всерос. науч. Интернет-конф. с междунар. участием. Казань, 5 июня 2014 г. Материалы конф. Сервис виртуальных конференций Рах Grid; сост. Д.Н. Синяев. Казань: ИП Синяев, 2014б. С. 18–25.
- Кошкарев А.В., Ротанова И.Н. Российские научно-образовательные геопорталы как элементы инфраструктуры пространственных данных // Вест. Новосибирского гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. 2014. Т. 12. № 4. С. 38–52.
- Куртеев В.В. (2010). О месте человека в системе «География – картография – неогеография»: <http://www.gisa.ru/63427.html?searchstring=%ED%E5%E5%E3%E5%E5%E3%F0%E0%F4%E8%FF>.
- Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. М.: Книжный дом Университет, 2016. 424 с.
- Мартыненко А.И. Электронная Земля, электронная Россия, электронная Москва. Теоретические основы и технологии // Электронная Москва: методология и технологии: Материалы 1-го Общерос. науч.-практич. семинара. М.: ИПИ РАН, 2002. С. 6–16.

- Тикунов В.С., Еремченко Е.Н. Цифровая земля и картография // Геодезия и картография. 2015. № 11. С. 6–15.
- Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE): <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32007L0002>.
- Ormeling F. Atlas Information Systems // Atlas Information Systems. Proc. of the 17th Intern. Cartografic Conf. and 10th General Assembly ICA. Barcelona, September 3–9, 1995. Vol. 2. Barcelona, 1995. P. 2127–2133.
- Rodríguez A.F., Abad P., Alonso J.A., Sánchez A., González C., Soteres C., Juanatey M., Díez E., Potti H. Towards a set of recommendations about how to implement geoportals in SDI nodes: http://icaci.org/documents/ICC_proceedings/ICC2009/html/nonref/3_8.pdf.
- Turner A. Introduction to neogeography O'Reilly Media: 2006. 56 p.
- Turner A. How neogeography killed GIS. URL: <http://http://docslide.us/technology/how-neogeography-killed-gis.html> // Presented at AGI UK GeoCommunity. 2009.

A.V. Koshkarev

CARTOGRAPHY IN THE SDI'S ERA

A brief excursion into history convincingly shows that the role of cartography and maps in the modern digital world is steadily growing. They acquire new forms of digital thematic computer mapping, web mapping, electronic mapping in conditions of integration of geographical information systems (GIS), remote sensing of the Earth and cartography. An analysis of current trends in their development allows us to assert that their integration is possible not on the platform of «neo-geography». More than twenty years ago, transition to new forms and mechanisms of organization and management of spatial data in the form of spatial data infrastructures (SDI) emerged. SDIs geoportals and other web-mapping platforms have all the necessary capabilities for creating maps in a networked and clouded environment.

М.В. Нырцов

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ВНЕЗЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ

Введение

Согласно (Геодезия..., 2008) внеземное картографирование определяется как создание картографических произведений, отображающих объекты и явления, находящиеся за пределами планеты Земля. Теоретически картографированию подлежат любые объекты от галактик и туманностей до малых тел Солнечной системы. В рамках данной статьи ограничимся обзором актуальных проблем картографирования небесных тел с твёрдой оболочкой.

Исходные данные с космических аппаратов, исследующих небесные тела в глубоком космосе, поступают на Землю в большом количестве и имеют разную тематику. Полученная информация загружается в специальные информационные системы, посвящённые внеземным объектам. Потребитель может обратиться к этим системам и свободно получить любую информацию. Если в начале космических исследований небесных тел информация была в дефиците, то в сегодняшних реалиях доступ к ней и её наличие уже не представляет проблемы. Вопрос заключается в возможности выполнения той или иной миссии к объекту исследований со стороны мировых космических агентств. Если миссия проходит успешно, то данные поступают практически сразу. Поэтому картографирование внеземных объектов – процесс оперативный. Зачастую фотомозаики поверхностей небесных тел выглядят как лоскутное одеяло, из-за того, что они состоят из космических изображений разного разрешения. Иногда на картах небесных тел можно увидеть «белые пятна», свидетельствующие об отсутствии информации. По мере поступления новых данных разрешение снимков улучшается, карты обновляются, заполняются площади с отсутствующей информацией. На этом фоне во внеземном картографировании на первый план выходит совершенно другая проблематика, отличная от той, что была несколько десятилетий назад. Остановимся подробнее на некоторых из этих проблем.

Атласное картографирование небесных тел

Наличие значительного количества тематических данных о небесных телах позволяет создавать их атласные произведения. С конца 1980-х – начала 1990-х годов в России наметился спад производства атласной продукции, посвящённой небесным телам. Одними их последних были Атлас поверхности Венеры 1989 года и Атлас планет земной группы и их спутников 1992 года. На этом фоне Атлас спутника Марса Фобоса, выпущенный в 2015 г., выглядит прорывом в области отечественного атласного картографирования небесных тел Солнечной системы. Он был создан коллективом авторов – специалистов в областях геодезии, картографии, небесной механики, геоморфологии и геологии. Атлас представляет собой систематизированное собрание карт и научных статей. Карты составлены по результатам обработки космических изображений, полученных космическими аппаратами Mars Express, Viking Orbiter, Фобос-2. Для атласа использовались новые определения опорной сети и параметров фигуры Фобоса. Интересен тот факт, что хотя Международный астрономический союз рекомендует для Фобоса использовать трёхосный эллипсоид в качестве референц-поверхности, большинство карт построено в проекциях сферы. Отчасти это связано с тем, что вычислительный аппарат этих проекций на момент создания атласа находился в стадии разработки.

Из зарубежных публикаций следует упомянуть работы проф. Стука в области атласного картографирования Луны и Марса. За последнее десятилетие им созданы: Атлас международных исследований Луны (2008 г.), Атлас международных исследований Марса. Первые пять десятилетий. Т. 1. 1953–2003 (2012 г.), Атлас международных исследований Марса. От Spirit до Curiosity. Т. 2. 2004–2014 (2016 г.) и Атлас исследований Марса с помощью Opportunity (2017 г.).

Атлас международных исследований Луны представляет собой собрание карт и космических изображений, а также лунных панорам, рассказывающих историю международных исследований Луны в хронологическом порядке. Автор рассказывает не только о состоявшихся миссиях, но и миссиях, потерпевших неудачу, а также планируемых в будущем полётах к Луне. Атлас создавался при активной поддержке учёных из России (ГАИШ МГУ, МИИГАиК и др.). Некоторые материалы уникальны и опубликованы впервые.

По повествованию Атлас международных исследований Марса схож с Атласом Луны. В нём в хронологическом порядке собраны кар-

ты, космические изображения, таблицы и подробные описания каждой миссии Марса от начала исследований планеты до миссии автоматической межпланетной станции Европейского космического агентства Mars Express. Отдельный раздел Атласа посвящён двум спутникам Марса – Фобосу и Деймосу. Карты этих тел составлены в морфографических проекциях. Текстовый материал в Атласе написан научно-популярным языком и доступен для понимания широкому кругу читателей. Второй том Атласа международных исследований Марса продолжает историю миссий по изучению планеты и охватывает период от марсохода Spirit до марсохода Opportunity с 2004 по 2014 г.

Одним из новейших картографических произведений, созданных проф. Стуком, является Атлас, посвящённый исследованию Марса с помощью Opportunity. Он выпущен в марте 2017 г. исключительно в электронном виде. В Атласе прослежен весь путь марсохода от посадки на поверхность в январе 2004 г. до выхода из кратера Индевор в феврале 2017 г., т.е. 13 лет непрерывного исследования.

Наиболее перспективным направлением в атласном картографировании небесных тел служит создание Атласа астероида, состоящего из карт различной тематики. Наиболее изучены Астероид 4 Веста и астероид 433 Эрос. При совместном участии космических агентств мира был создан фото-атлас Весты, он размещён в Интернете. К сожалению, как и в случае с Атласом Фобоса, проекции, используемые для карт, были вычислены для референц-поверхности сферы, несмотря на рекомендации Международного астрономического союза по использованию для Весты референц-поверхности трёхосного эллипсоида. Фото-атлас Эроса был создан автором статьи (Нырцов, 2012). Тематических атласов астероидов пока не существует. Их только предстоит создать.

Тематическое картографирование малых небесных тел

Тематические карты предоставляют наиболее разностороннюю и исчерпывающую информацию для научных исследований. Создание тематических карт малых небесных тел зависит от наличия исходных данных, а получение самих данных зависит от состава аппаратуры, установленной на борту космического аппарата, исследующего небесное тело. Научная аппаратура требует серьёзного финансирования, поэтому большинство карт малых тел – это карты их поверхностей,

отображённых с помощью фотомозаик, склеенных из одиночных снимков. Тем не менее есть примеры малых небесных тел, для которых имеется значительное количество тематических данных – это астероид 433 Эрос и астероид 4 Веста. Для Весты создан набор интерактивных электронных карт NASA Vesta Trek в квадратной цилиндрической проекции сферы. Карты размещены в свободном доступе в интернете.

В связи с тем, что Международный астрономический союз рекомендует для аппроксимации фигуры Весты трёхосный эллипсоид с полуосями 289, 280 и 229 км, ресурс NASA Vesta Trek был взят за основу в качестве исходных картографических материалов. По ним была сделана серия тематических карт на единой математической основе в проекции Бугаевского для трёхосного эллипсоида (Каневский, 2016). Для астероида Эрос такая работа только предстоит.

Картографирование сдвоенных небесных тел

Изучение новых данных о малых телах Солнечной системы позволяет прийти к выводу, что фигуры некоторых из них были образованы путём соединения двух ранее существовавших по отдельности тел. Сдвоенными или бинарными телами являются астероид 4179 Таутатис, астероид 4769 Касталия, астероид 216 Клеопатра и др. Самое известное сдвоенное тело – комета 67P/Чурюмова-Герасименко, ядро которой состоит из двух частей (малой и большой), соединённых перешейком (Jorda L. et al., 2016). По оценкам учёных каждую долю следует аппроксимировать собственным трёхосным эллипсоидом, а шею с помощью референц-поверхности сферы. При этом полуоси большой доли составляют: $2,10 \times 1,61 \times 0,90$ км, а полуоси малой доли: $1,35 \times 1,12 \times 0,82$ км. Несмотря на эти оценки, опубликованные в 2015 г. карты (F. Scholten и др. 2015) были составлены в проекциях сферы опять же по причине отсутствия инструментария по расчёту проекций трёхосного эллипсоида.

Интересен факт, что даже те тела, которые Международный астрономический союз рекомендовал ранее аппроксимировать единым трёхосным эллипсоидом, в будущем, возможно, придётся картографировать на две референц-поверхности. Это астероид 433 Эрос и астероид 25143 Итокава. Эрос имеет форму боба, похожей формой обладает Итокава. Картографирование тел с использованием двух эллипсоидов справед-

ливо в плане того, что, выбирая один «планетоцентрический» эллипсоид, невозможно хорошо аппроксимировать всю фигуру. В каких-то участках он будет проходить близко к поверхности, а в других сильно отдаляться от неё. Ещё одна проблема, которую предстоит решить при картографировании сдвоенных тел – это как стыковать две разные референц-поверхности. За этой проблемой возникает следующая: как соединить проекции двух разных референц-поверхностей или сделать отображение по отдельности, но, тогда как стыковать проекции трёх частей тел, двух долей и перешейка? И это только небольшой круг вопросов, который возникает на пути картографирования сдвоенных тел.

Картографирование с помощью составного эллипсоида

Картографирование небесных тел с использованием референц-поверхности составного эллипсоида связано с картографированием сдвоенных тел и направлено на отображение тел ещё более сложной формы (Бугаевский, Нырцов, 2006) Составной эллипсоид представляет собой фигуру, полученную соединением частей эллипсоидов с различными значениями осей, при этом на стыке значения этих осей должны совпадать. Так, астероид Эрос можно картографировать не только с помощью двух трёхосных эллипсоидов, но и с помощью четырёх частей, для каждой из которых подбирается свой эллипсоид, а потом эти части стыкуются друг с другом. При таком картографировании возникают две проблемы: проблема корректного выбора полуосей и проблема стыковки частей эллипсоидов. В работе (Нырцов, 2012) построена карта астероида 433 Эрос с использованием составного «шестиосного» эллипсоида. Проекции, получаемые для составного эллипсоида, требуют дальнейших исследований, в том числе с точки зрения вычисления искажений.

Система определения высот поверхностей небесных тел

В настоящее время наметились разночтения в показе рельефа на гипсометрических картах небесных тел. В фото атласе астероида 4 Веста карты составлены в проекциях сферы с радиусом 255 км, а горизонталы даны относительно эллипсоида вращения с полуосями 285 и 229 км.

Для гипсометрических карт спутников Марса (Шибанова и др., 2012) используется ортографическая проекция эллипсоида вращения со значениями осей 11200 и 9200 м для Фобоса, 6100 и 5200 м для Деймоса, а высоты отсчитаны от сфер с радиусами 11,1 и 5,77 км соответственно.

Существует карта Фобоса, фигура которого аппроксимируется трёхосным эллипсоидом и высотные отметки отсчитываются от этой же поверхности, но методика апробирована только на нём, а Фобос – это тело с незначительным сжатием (Огородова и др., 2012).

За рубежом для малых тел Солнечной системы принято в качестве гипсометрических карт представлять карты распределения радиус-векторов точек поверхности, отсчитываемых из центра масс тела. Поэтому очевидно, что необходимо разработать методику вычисления высот относительно той референц-поверхности, с помощью которой аппроксимируется фигура тела и в проекциях которой создаётся карта. В данном случае нас интересуют высоты над эллипсоидом, так называемые геодезические высоты, которые представляют собой расстояние, отсчитываемое по нормали от поверхности эллипсоида до определяемой точки. Подобные вычисления не должны быть ограничены параметром сжатия или эксцентриситета фигуры тела, т.е. методика должна позволять вычислять высоты относительно трёхосного эллипсоида, аппроксимирующего и Фобос (полярное сжатие 0,33, экваториальное сжатие 0,22), и Эрос (полярное и экваториальное сжатия 0,674).

Геоинформационное картографирование небесных тел

Проблема геоинформационного картографирования небесных тел возникает потому, что в математических модулях наиболее популярных и используемых ГИС-пакетов отсутствует как референц-поверхность трёхосного эллипсоида, так и его проекции, нет и различных вариантов задания широт на трёхосном эллипсоиде. Не существует в ГИС и морфографических проекций, передающих нерегулярную форму небесного тела.

Отмеченные выше проблемы приходится решать, используя сторонний инструментарий для вычисления узловых точек картографической сетки с последующей их загрузкой в ГИС. При этом важно соблюдать форматы и правила описания данных. Для вычисления проекций трёхосного эллипсоида была создана программа на языке JavaScript.

Она размещена на сайте Центра геоинформационных исследований Института географии РАН (ЦГИ ИГ РАН) (Нырцов и др., 2012). Пользователь вводит в специальную форму значения полуосей трёхосного эллипсоида, аппроксимирующего форму небесного тела, выбирает способ задания широт на трёхосном эллипсоиде и картографическую проекцию. Далее программа визуализирует узлы картографической сетки и представляет возможность экспортировать их координаты в отдельный файл. Для морфографических проекций приходится по-прежнему сочетать разностороннее программное обеспечение.

Создание интерактивных карт и виртуальных глобусов небесных тел

Информация о внеземных объектах поступает на Землю в цифровом виде. Анализ, обработка и визуализация данных происходит также в цифре, поэтому наиболее логичными представлениями информации о небесных телах служат электронные карты и как их разновидность интерактивные карты, которые размещаются в интернете в свободном доступе, что немаловажно. С помощью предлагаемого инструментария пользователь может работать с картами, выполнять операции по поиску и анализу необходимой информации. Интерактивные электронные карты имеют некоторые ограничения, связанные с наличием устройства визуализации, без которого их невозможно просмотреть, а также учётом определённой платформы, на которой будет предстоит работать. Оформление представляемой на электронных картах информации связано с разрешением дисплея, его цветопередачей и многими другими факторами, которые встают на пути картографа. Тем не менее интерактивные карты набирают популярность и будут предлагаться пользователям всё больше наравне с традиционными бумажными картами.

Примерами интерактивных карт, созданных в последнее время, являются карты Меркурия, Луны, Марса, спутника Марса Фобоса, спутников Сатурна Ио, Европы, Ганимеда, Каллисто, Энцелада, размещённые на геопортале планетных данных Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий МИИГАиК. Это также интерактивные карты Марса Google Mars, интерактивные карты Луны Google Moon и др. Не так давно российская информационно-поисковая система «Спутник» запустила проект «Спутник/Марс», который

представляет собой научно-популярную энциклопедию, содержащую справочные сведения и интерактивные карты Марса.

Тенденция перехода в цифровую и электронную формы справедлива и для глобусов. Сегодня создаются как традиционные, так и виртуальные глобусы небесных тел. Наиболее интересным историческим примером глобуса небесного тела служит глобус Фобоса в форме трёхосного эллипсоида, созданный в МИИГАиК в 1988 г. К традиционным глобусам небесных тел, созданным за последнее десятилетие, можно причислить гипсометрические глобусы Марса (Бреховских, Родионова, 2014), Луны (Гришакина и др., 2014) и Меркурия (Жаркова и др., 2015), созданных при участии ГАИШ МГУ.

Виртуальные глобусы широко представлены на разных платформах. К ним можно отнести глобусы Марса Google Mars, глобуса Луны Google Moon в программе Google Earth. На платформе iOS для портативных устройств Apple есть виртуальный глобус Марса Mars Globe и виртуальные глобусы Луны Moon Globe, Moon Atlas и др. Количество создаваемых виртуальных глобусов небесных тел растёт с каждым днём и служит одной из популярных форм представления картографической информации о небесном теле.

Заключение

В статье рассмотрен некоторый круг проблем картографирования внеземных объектов. По сути, ныне внеземная картография проходит тот же путь, что и земная, а именно: выбор референц-поверхности, определение способов задания системы высот, изыскание наилучших проекций для картографирования небесных тел и т.п. С каждым днём информации становится всё больше, а с получением новых знаний возникают новые задачи в области внеземной картографии, которые предстоит решить в дальнейшем.

Литература

- Атлас планет земной группы и их спутников / Под ред. В.Д. Большакова и др. М.: МИИГАиК, 1992. 208 с.
- Атлас поверхности Венеры / Под ред. В.А. Котельникова и др. М.: ГУГК; 1989. 328 с.

- Атлас Фобоса / Коллектив авторов. М.: МИИГАиК, 2015.
- Бреховских Ю.А., Родионова Ж.Ф. Гипсометрический глобус Марса масштаба 1:45 200 000. М.: ИКИ РАН, ГАИШ МГУ, 2013.
- Бугаевский Л.М., Нырцов М.В. Картографирование малых небесных тел с использованием составных эллипсоидов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофото- съемка. 2006. № 6. С. 158–168.
- Геодезия, картография, геоинформатика, кадастр. Энциклопедия. В 2 т. / Под ред. А.В. Бородко, В.П. Савиных. Т. 1. М.: Геодезкартиздат, 2008. 496 с.
- Геопортал планетных данных Комплексной лаборатории исследования вне- земных территорий МИИГАиК. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://cartsrv.mexlab.ru/geoportal/> (дата обращения 15.05.2017).
- Гришакина Е.А., Лазарев Е.Н., Родионова Ж.Ф., Шевченко В.В. Гипсометриче- ский глобус Луны масштаба 1:23 000 000. М.: ГАИШ МГУ, 2014.
- Жаркова А.Ю., Родионова Ж.Ф., Коханов А.А., Карачевцева И.П. Гипсометриче- ский глобус Меркурия масштаба 1:32 000 000. М.: МИИГАиК, 2015.
- Каневский Н.Г. Создание тематических карт астероида 4 Веста в проекции трёхосного эллипсоида. Выпускная квал. Работа. М.: МИИГАиК, 2016.
- Картографические проекции трёхосного эллипсоида. Сайт ЦГИ ИГ РАН. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://geocnt.geonet.ru/ru/3_axial (дата обращения 15.05.2017).
- Нырцов М.В. Разработка теории и методологии картографирования малых не- бесных тел: Дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. 2 тома. М., 2012.
- Нырцов М.В., Флейс М.Э., Борисов М.М. Картографирование астероида 433 Эрос в равнопромежуточных вдоль меридианов цилиндрической и азиму- тальной проекциях трёхосного эллипсоида // Изв. вузов. Геодезия и аэро- фотосъемка. 2012. № 1. С. 54–61.
- Огородова Л.В., Конопихин А.А., Надеждина И.Е. Вычисление геодезических координат для трёхосного отсчетного эллипсоида // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2012. № 5. С. 9–13.
- Проект «Спутник/Марс» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://space.sputnik.ru/mars/> (дата обращения 15.05.2017).
- Фото атлас астероида 4 Веста [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.planetary.org/multimedia/space-images/small-bodies/photo-atlas-of-asteroid-vesta.html> (дата обращения 15.05.2017).
- Шибанова М.С., Лазарев Е.Н., Родионова Ж.Ф. Новая карта спутников Марса // Земля и Вселенная. 2012. № 6. С. 3–18.
- Jorda L. et al. The global shape, density and rotation of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from preperihelion Rosetta/OSIRIS observations // Icarus. 2016. № 277. P. 257–278.
- NASA Vesta Trek [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vestatrek.jpl.nasa.gov> (дата обращения 15.05.17)
- Scholten F., Preusker F., Jorda L., Hviid S. on behalf of the OSIRIS 3D Working Group and the entire OSIRIS Team Reference frames and mapping schemes of comet 67P/v2 (24 September 2015) (Peer review document).

M. V. Nyrtsov

ACTUAL PROBLEMS OF EXTRATERRESTRIAL OBJECTS MAPPING

The knowledge on extraterrestrial objects extends with the acquisition of new data including in the field of mapping. However, there are tasks that terrestrial cartography has taken place and the extraterrestrial cartography have yet to be solved. This is the choice of the reference surface, the best map projections investigation, the processing and visualization of thematic information, the choice of representation form of maps etc. Each of these issues is specific in contrast to maps of the Earth. The article discusses the most relevant problems related to the mapping of the celestial bodies of the Solar System.

Т.Е. Самсонов

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОИНФОРМАТИКА И ЕЁ РОЛЬ В РАЗВИТИИ КАРТОГРАФИИ И ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ НАУК

Введение

Геоинформатика как самостоятельная научная дисциплина сформировалась на рубеже 1980–90-х годов. Исследования 1960–80-х годов в области автоматизированной картографии (Сербенюк, Тикунов, 1984), методов пространственного анализа и моделирования (Жуков и др., 1980), концептуализации и обработки географической информации (Ширяев, 1984), построения геоинформационных систем (Burrough, 1986), а также технических средств их реализации, таких как структуры данных (Samet, 1990) и алгоритмы вычислительной геометрии (Preparata, Shamos, 1985) привели к постепенному формированию особой области знания, которая получила современное название «геоинформатика» (Сербенюк, 1990; Кошкарев, Тикунов, 1993), а в англоязычных странах – Geographical Information Science (Goodchild, 1992). Позднее зарубежное название также получило более компактную форму GIScience (Mark, 2000), в настоящий момент обе формы в равной степени употребительны в научной литературе.

Основанием для идентификации геоинформатики как самостоятельной науки служит уникальность пространственных (или географических) данных и информации, проблемы исследования которых не могут быть решены в рамках какой-то другой (возможно, более крупной) научной дисциплины. Эта уникальность обусловлена, среди прочего, непрерывностью пространственных измерений, наличием пространственной зависимости (автокорреляции) в измеряемых величинах и распределением данных относительно неплоской поверхности Земли (Goodchild, 1992). Автокорреляция, выражающаяся в зависимости свойств соседних географических локаций, даёт возможность представить континуальное пространство реального мира средствами дискретных моделей данных, лежащих в основе геоинформационного моделирования. Круг научных вопросов геоинформатики изначально был очерчен вокруг таких задач как сбор данных и выполнение из-

мерений в географическом пространстве; фиксация и хранение данных; пространственная статистика; моделирование данных и теория пространственных данных; структуры данных, алгоритмы и рабочие процессы; отображение данных; аналитические инструменты; а также институциональные, управленческие и этические вопросы (Goodchild, 1992). Была сформулирована точка зрения на геоинформатику как науку, область техники и производства (Кошкарев, Тикунов, 1993).

За прошедшие десятилетия геоинформатика достигла впечатляющих результатов как в развитии указанных направлений, так и в постановке и решении новых проблем обработки географической информации, вызванных потребностями современных географических исследований и технологическими инновациями. Многие актуальные вопросы возникли при анализе человеческой деятельности, в области взаимодействия человека и окружающей среды. Именно в этот период вышли публикации, которые формируют фонд «классики» научной литературы в области геоинформатики и охватывают такие темы, как анализ распространения ошибок в геоинформационных моделях (Neuvelink et al., 1989), разработка пространственных структур данных (Samet, 1990), алгебра карт (Tomlin, 1990), топологическая модель девяти пересечений (Egenhofer, Francoza, 1991), локальные показатели пространственной ассоциации – LISA (Anselin, 1995), теория географических объектов с нечёткими границами (Burrough, Frank, 1996), триангуляционные модели рельефа с переменным разрешением (de Floriani et al., 1996), метод географически взвешенной регрессии – GWR (Brunsdon et al., 1998), визуальная аналитика на основе карт (Andrienko, Andrienko, 2001), разработка онтологии географических понятий (Smith, Mark, 2001), регрессионный кригинг (Hengl et al., 2004), общая теория моделей представления в ГИС (Goodchild et al., 2007), концепция волонтерской географической информации (Goodchild, 2007).

Геоинформатика на рубеже веков

Можно выделить несколько наиболее важных теоретико-методологических течений, определявших основной поток научных исследований в области геоинформатики в течение 1990–2000-х годов (Goodchild, 2010). Это смещение акцента от ошибок в измерениях и моделировании к понятию *неопределённости* (uncertainty), естествен-

ным образом присущей границам и характеристикам географических объектов (Burrough, Frank, 1996); стандартизация и обобщение многочисленных моделей данных, используемых для представления географических явлений как в форме теоретических разработок (Goodchild et al., 2007), так и в форме стандартов OGC (Open Geospatial Consortium); а также более чёткая формализация устройства географического мира, которая закладывается в основу разработки подходов к геоинформационному моделированию (Sui, 2004).

Геоинформационная концепция в картографии (Берлянт, 1997), естественным образом сформировавшаяся в этот период, стала первым отражением обратного процесса влияния геоинформатики на развитие картографии. Если изначально геоинформатика, по сути, зародилась в недрах картографии, впитав её методы, то дальнейшее развитие этих, а также появление новых методов обработки географической информации привело к тому, что сформировался концептуально и технологически новый подход к созданию карт, основанный на формировании баз пространственных данных, применении методов пространственного анализа, моделирования и визуализации в геоинформационных системах. Самым существенным достижением картографии, произошедшим благодаря развитию геоинформационных технологий, несомненно, стало воплощение образа современной карты в форме *картографических веб-сервисов* для настольных и мобильных сред использования.

Появление доступных поисково-навигационных картографических порталов¹ в середине 2000-х годов, их дальнейшее интенсивное развитие и адаптация к использованию на мобильных устройствах способствовали массовой популяризации картографии в повседневной жизни и деловой сфере, и, как следствие – невероятному расширению рынка геопро пространственных данных и услуг. В свою очередь, развитие вычислительной техники, появление новых амбициозных игроков на рынке картографии и возрастание конкуренции в производственной среде стимулировали развитие новых технологических решений, способных выполнять сложные операции пространственного анализа и визуализации в режиме реального времени, а также с использованием распределённых вычислений. Одним из впечатляющих прорывов в промышленной картографии последних лет, который стал возможен с развитием геоинформационных технологий, оказалась

¹ «Яндекс.Карты», OpenStreetMap, Google Maps.

полная автоматизация процедур генерализации, необходимых для составления карт по более крупномасштабным источникам на примере одного масштабного перехода (Stoter et al., 2014).

Границы между геоинформатикой и картографией размыты, эти науки испытывают взаимопроникновение и сохраняют сильные связи, но влияние геоинформатики на развитие картографии в настоящий момент значительно более сильное, чем обратное. Влияние это зачастую служит примером того как технологические инновации стимулируют появление новых методов и подходов к решению задач. В частности, оно проявляется в высоком уровне доступности инструментов визуализации, позволяющих автоматизировать многовариантность графического отображения пространственных данных. Географическая визуализация, или *геовизуализация* – метод на стыке геоинформатики и картографии, в котором основной акцент делается не на создании конечного картографического продукта высокого качества, а на процессе формирования и анализа множества визуализаций данных, комбинации картографических и графических представлений, позволяющих интерактивным образом исследовать содержание и свойства данных, получать географические выводы методом визуальной аналитики (MacEachren, Taylor, 1994; Slocum et al., 2001; Çöltekin et al., 2017).

В современном мире карта представляет собой не только инструмент визуального анализа, но и способ организации доступа к географической информации (которой может быть гораздо больше, чем способна вместить карта). В соответствии с этим, одним из разделов современной картографии на стыке с геоинформатикой является разработка *картографических интерфейсов*, обеспечивающих взаимодействие между пользователем и пространственными данными, извлечение и визуальное представление необходимой информации (Kraak, Ormeling, 2010; Roth, 2013).

Важный аспект картографических интерфейсов – их интерактивность. Обеспечение интерактивности, учёт специфики восприятия и динамичного использования карт на электронных устройствах делают дизайн карт для Интернета особой задачей, обладающей рядом специфических аспектов (Muehlenhaus, 2014). Интерактивность позволяет динамически менять параметры способов изображения по жестам пользователя – например, при изучении рельефа (Willett et al., 2015). Одним из важных достижений картографии для интерактивных интерфейсов являются адаптивные композитные картографические проекции (Jenny, 2012), позволяющие

менять проекцию и её параметры в соответствии географическим охватом территории, просматриваемой в настоящий момент.

Экспертное знание в области геоинформатики формируется мировым сообществом учёных и производителей. Научный дискурс в ведущих международных изданиях и на международных конференциях определяет актуальную повестку дня в науке. Общее количество статей в области, условно называемой «Цифровая Земля» (Gore, 1999), которая включает в себя преимущественно геоинформатику и дистанционное зондирование, выросло с 1998 по 2014 г. примерно в 8 раз – с 174 до 1412 (Liu et al., 2017). Анализ 20 ведущих журналов по геоинформатике показывает, что в настоящий момент 76% научных статей публикуются авторами всего лишь из 5% стран мира (Biljecki, 2016). Лидирующие позиции здесь занимают такие страны как США (31,3%), Китай (8,6%), Великобритания (7,5%), Германия (5,9%), Канада (5,8%). Интенсивно растёт международное сотрудничество в области геоинформатики: если в 2000 г. лишь 10% статей были написаны авторами из разных стран, то к 2014 г. доля международных публикаций выросла до 31% (Biljecki, 2016).

Экспертиза в современной геоинформатике, согласно исследованию (Duckham, 2015), выполненному на основе анализа содержания ведущих международных журналов, сосредотачивается вокруг пяти основных направлений, которые так или иначе разделяются многими исследователями. Это *структура* (автокорреляция, пространственная неоднородность и полимасштабность), *неопределённость* (нечёткость, неточность и детализация), *динамизм* (изменение во времени и пространстве), *язык и восприятие* (соответствие человеческого мышления и машинной логики в процессе принятия решений), *дизайн* (картография, визуализация, картографические интерфейсы доступа к геоинформации).

Более формализованный библиометрический анализ ключевых слов статей показывает, что в геоинформационных исследованиях наблюдается три кластера. Первый из них сосредоточен вокруг понятия *система* и коррелирует с ключевыми словами *фреймворк*, *инструмент* и *технология*. Второй кластер образуется понятием *изображение* и коррелирует с ключевыми словами *алгоритм*, *классификация* и др. Наконец, третий кластер не имеет ярко выраженного центра, но вращается вокруг понятий *наблюдение*, *период*, *паттерн*, *вариация* и т.п. (Liu et al., 2017). Эти группировки исследований показывают, что, с одной стороны, исследования направлены на разработку программных систем, которые бы отвечали техническим требованиям хранения, обработки, анали-

за и картографического представления данных, относящихся к Земле. С другой стороны, огромное внимание уделяется развитию алгоритмов обработки спутниковых изображений, которые в настоящий момент служат основным источником данных для большинства географических исследований (Liu et al., 2017). Наконец, с третьей стороны прослеживается отчётливый интерес к специфике обработки пространственных данных, полученных разными методами наблюдений и решению исследовательских задач с применением геоинформационных методов.

Пространственные данные, то есть сведения, характеризующие местоположение и геометрическое описание объектов в пространстве и относительно друг друга (на местности), играют ключевую роль при решении как фундаментальных задач научного исследования природных и социально-экономических процессов, так и прикладных задач в области территориального планирования и развития национальной экономики. Технологический прорыв начала XXI в., связанный с развитием глобальной сети Интернет и прикладного программного обеспечения, а также радикальным ростом производительности, многофункциональности, компактности и доступности цифровых устройств и технических систем, привёл к экспоненциальному росту объёма географической информации, поступающей из самых разнообразных источников: систем спутникового позиционирования, наземного и воздушного лазерного сканирования, космической съёмки, беспилотных летательных аппаратов, мобильных и геосенсорных сетей, социальных сетей и краудсорсинговых интернет-проектов, таких как OpenStreetMap. Можно обоснованно утверждать, что мы живём в эпоху не только больших данных, но также и больших пространственных данных, из которых требуется извлекать полезную информацию и формировать на её основе качественный и достоверный картографический контент, лежащий в основе принятия решений.

Типы географической информации

Таким образом, проблемы класса 4V (velocity, volume, variety, veracity – частота, объем, разнообразие, достоверность) свойственны и области пространственных данных. Географические исследования оказались погружены в среду, насыщенную информацией, что привело к появлению концепции *data-driven geography* – география, движимая (управляемая) данными (Miller, Goodchild, 2014). Откликаясь на совре-

менные вызовы, геоинформатика естественным образом сосредоточилась вокруг различных свойств и аспектов географической информации. Можно выделить как минимум девять её основных типов, которым в настоящее время уделяется, и, по всей видимости, будет уделяться в ближайшие годы особое внимание.

1. *Динамическая.* Информация о развитии объектов в пространстве и времени традиционно разделяется на исследование перемещения объектов, изменения их границ и содержательные (внутренние) изменения (Goodchild et al., 2007). К последней категории можно отнести и динамику географических полей. Исследования динамических явлений (Yuan, Stewart Hornsby, 2008) требуют разработки специализированных моделей и структур данных (Wang et al., 2015), методов пространственно-временной статистики и анализа (Cressie, Wikle, 2011), а также визуальной аналитики (Andrienko et al., 2013, 2017). Современные технологии позволяют использовать высокопроизводительные вычисления на графическом процессоре для работы с динамическими данными (Lienert et al., 2012), благодаря чему появляются новые виды картографических визуализаций, такие как *видео-карты* (Jenny et al., 2016).

2. *Оперативная.* Мониторинг географических объектов и явлений в режиме реального времени приводит к возникновению оперативной географической информации. Данное направление исследований связано прежде всего с обработкой потоков данных, генерируемых геосенсорными сетями – *geosensor networks* (Duckham, 2013), и оперативным принятием решений и предоставлении услуг с учётом сиюминутного местоположения объекта – *location-based services* (Karimi, 2013). Развитие, удешевление и повсеместное внедрение технологий ГНСС- и indoor-позиционирования подводит нас к тому, что в будущем будет возможно оперативное позиционирование каждого объекта в антропогенной среде (Goodchild, 2010), что предъявит новые вызовы методам и технологиям работы с оперативными данными.

3. *Массовая.* Массовость географической информации, генерируемой большим количеством источников, воплощается в феномене больших пространственных данных (Big Spatial Data). Анализ больших пространственных данных напрямую связан с разработкой специализированных высокопроизводительных алгоритмов их обработки, позволяющих на их основе находить географические закономерности. Использование больших данных представляет одну из наиболее востребованных для решения проблем в современной картографии (Robinson et al., 2017).

4. *Потоковая.* Переход на клиент-серверную архитектуру построения геоинформационных систем и картографических сервисов поднял вопрос о форматах, стандартах и протоколах передачи географической информации (Sester, Brenner, 2009). Появились специализированные форматы представления пространственных данных, предназначенные для эффективной и компактной передачи данных по сети, такие как векторные тайлы (Gaffuri, 2012), которые в настоящий момент уже являются стандартом де-факто в мобильных картографических приложениях и веб-среде.

5. *Разнородная.* Географическая информация в настоящий момент поступает из разнообразных источников, при этом возникает необходимость совместного использования таких данных. Традиционно проблему рассматривали больше в плоскости геометрического согласования и совмещения данных, однако последнее десятилетие всё большее внимание уделяется семантике разнородных географических данных (Janowicz et al., 2012), построению геосемантических сетей (Zhang et al., 2015), которые призваны обеспечить смысловую интеграцию разнородных данных. Отличия в семантике могут иметь разные причины, начиная от технологий сбора данных и заканчивая разницей в подходах к анализу информации в разных географических науках. Одним из источников проблем картографирования по запросу (*on-demand mapping*) служит возможность выбора пользователем данных, которые он хочет совместить на карте (Cecconi et al., 2002). Картографические веб-приложения, обладающие возможностью совмещения данных из разных источников, получили названия мэшап-приложений (Slingsby et al., 2007) – от английского “mashup”. Распространённым проявлением разнородности данных служит различие в их пространственной привязке (проекции). Современные технологии позволяют решать эту проблему непосредственно при отображении данных, в том числе в достаточно сложных случаях, таких как проецирование растров, где необходимо избежать артефактов, возникающих при передискретизации данных на сетку в новой системе координат (Jenny et al., 2016).

6. *Многомерная.* Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в области трехмерного моделирования и пространственно-временных закономерностей, геоинформационные системы по-прежнему остаются, главным образом, двумерной технологией, в которой доминирует метафора карты (Goodchild, 2010). Многие географические концепты, такие как оверлей карт, не формализованы ясным образом

для трёхмерного пространства и пространств большей размерности. В то же время интенсивное развитие городских исследований, задача навигации в замкнутых пространствах, развитие методов получения детальных трёхмерных данных требуют разработки универсальных подходов к работе с трёхмерной географической информацией и созданию трёхмерных ГИС (Stoter et al., 2016; Abdul-Rahman, 2017).

7. *Мультимасштабная.* Географическое пространство имеет многоуровневую (полимасштабную) организацию, и вместе с тем может быть изучено на разных масштабах рассмотрения. Мультимасштабные исследования в геоинформатике разделяются на четыре основных ветви. Это проектирование специализированных структур данных для представления мультимасштабных данных (van Oosterom et al., 2010, 2015), мультимасштабный геоинформационный анализ (Jiang 2014; Yan, Li, 2015) мультимасштабное картографирование и визуализация (Самсонов, 2012), а также генерализация пространственных данных (Li, 2007). Задача полной автоматизации создания масштабного ряда топографических баз данных (карт) по-прежнему не решена, хотя ряд национальных картографических агентств уже представил такие технологии для отдельных масштабных переходов (Stoter et al., 2014).

8. *Волонтерская.* Волонтерская географическая информация (ВГИ – от английского VGI, Volunteered Geographic Information), в отличие от традиционных подходов к сбору географических данных, получается не профессиональными специалистами, а добровольцами (Goodchild, 2007). Такая информация может создаваться как явным образом добровольцами (*краудсорсинг*), так и неявным образом путём предоставления доступа к местоположению и содержанию личного пользовательского контента в сети Интернет (*социальные сети*). Открытость технологий создания географических данных поднимает целый ряд новых вопросов в области ВГИ (Goodchild et al., 2016), связанных в том числе с качеством этих данных. Всё большее внимание уделяется использованию данных социальных сетей в качестве источника для пространственного анализа, картографирования и социологических исследований (Andris, 2016).

9. *Неопределённая.* Неопределённость (uncertainty) является фундаментальным следствием естественного несовершенства информации и проявляется в таких формах как *непрецизионность* (ограниченное количество цифр в числовом представлении), *неточность* (наличие погрешностей) и *нечёткость* (размытость границ, наличие

переходных и пограничных случаев) (Duckham, 2015). Неопределённость географической информации требует разработки специализированных подходов, которые бы делали различные аспекты неопределённости явными на всех стадиях географических исследований: сбора, хранения данных, выполнения запросов, анализа, визуализации и интерпретации результатов (Tavana et al., 2016).

Из всех перечисленных свойств географической информации неопределённость является единственным свойством, с точки зрения которого можно охарактеризовать любой географический факт или набор данных. Остальные же свойства специфичны для определённых сценариев получения географической информации, разнообразие которых велико, но может быть формализовано (Scheider et al., 2016). Современные технологические и программные средства, несмотря на интенсивное развитие методической базы, не достаточно развиты для учёта этих свойств в явном виде. В частности, до настоящего момента ни один из существующих ГИС-пакетов общего назначения не обладает полноценной поддержкой трёхмерных, мультимасштабных, временных данных, которая бы позволяла быстрым и эффективным образом решать специфические для них исследовательские задачи. Решение этой проблемы – одна из главных технологических задач ближайшего будущего.

Технологические сдвиги в работе с географической информацией

В настоящее время наблюдаются технологические сдвиги в области научно-исследовательской работы с географической информацией, из которых можно выделить три основных: открытость и воспроизводимость методов и технологий, диверсификация программных средств и массовое внедрение сервис-ориентированной архитектуры.

1. *Открытость и воспроизводимость* методов и технологий означает, что любое исследование, выполненное учёным, может быть повторено (воспроизведено) любым другим исследователем. Открытость и воспроизводимость может быть полноценно достигнута только при условии массового овладения программированием и использования открытых программных библиотек. Воспроизводимые исследования содержат публикации программных кодов, алгоритмов, моделей и исходных данных, используемых для решения научных задач (Singleton et al., 2016). Всё большее распространение получают комплексные учебные

пособия, которые не только содержат теорию и примеры применения тех или иных методов пространственного анализа, но и показывают, как можно реализовать их на конкретном языке программирования. Чаще всего для этого используются скриптовые языки *R* (Baddeley et al., 2016) и *Python* (Lawhead, 2015), имеющие низкий порог вхождения при изучении и окружённые впечатляющим набором библиотек для пространственного и статистического анализа данных. Именно такие книги обеспечивают полное понимание предмета: от концептуальных основ до практической реализации. В настоящий момент основным технологическим средством решения задач пространственного анализа становится программирование в противовес громоздким многофункциональным ГИС-пакетам с графическим интерфейсом.

2. *Диверсификация программных средств ГИС* – это следствие нового способа мышления при решении географических проблем, который приобретает в условиях растущей киберинфраструктуры и мобильных технологий. Изначально развитие ГИС-технологий носило ярко выраженный карто-центрический характер. При этом метафора карты пронизывала все программные компоненты ГИС, такие как хранение (СУБД), редактирование данных (компьютерное картографирование), анализ (пространственная статистика), геовизуализация. В настоящий момент развитие ГИС можно охарактеризовать как многоцелевое (Yuan, 2016). Многие ГИС-пакеты остаются карто-ориентированными, однако есть статистико-ориентированные пакеты и библиотеки ГИС (*R*), СУБД-ориентированные ГИС (*PostGIS*), вычислительно-ориентированные ГИС (*Python*) и визуализационно-ориентированные ГИС (*CARTO*). Вычислительная ориентация современных ГИС-технологий привела к появлению такой подотрасли геоинформатики как *геовычисления* – *geocomputation* (Fotheringham, 1998; Singleton, Brunson, 2015).

3. *Переход на сервисно-ориентированную архитектуру* тесно связан с формированием географических информационных ресурсов в глобальной сети (Аляутдинов и др., 2016) и их использованием с различных устройств (в том числе мобильных). Логическим развитием сервис-ориентированной архитектуры служит *облачная архитектура*, при которой пользователю не известно физическое размещение используемых им вычислительных ресурсов и хранилища данных, которые могут предоставляться в виде услуги. Для выполнения географического анализа пользователю не обязательно иметь на своём компьютере ни исходные данные, ни программное обеспечение для их обработки (*SaaS* – *Software*

as a service), однако при этом существенно повышаются требования к стандартизации и интероперабельности сервисов, отвечающих за обработку данных (Regnaud et al., 2014). Говоря о сервисно-ориентированной архитектуре, нельзя не отметить, что существенно возросшие вычислительные возможности персональных устройств, веб-браузеров и картографических программных библиотек (Leaflet, OpenLayers, Mapbox, Mapzen) привели к тому, что решение ряда задач (прежде всего, визуализация) в последние годы снова «переехало» с серверов на клиентские устройства, а функции ГИС-серверов сместились в сторону предоставления и фоновой обработки данных. Это позволило освободить серверную часть в подобных архитектурах от избыточной нагрузки в случае большого количества пользовательских подключений.

Проведённый обзор показывает, что для современной геоинформатики характерен переход к фундаментальному осмыслению феномена географической информации на концептуальном, теоретико-методологическом и технологическом уровне. Географическая информация не является искусственным плодом геоинформатики, а возникает естественным образом в географических науках на всех стадиях исследования, начиная со сбора данных, проходя через различные преобразования и заканчивая анализом результатов. И геоинформатика и остальные географические науки являются потребителями и создателями географической информации, но лишь геоинформатика изучает её свойства на абстрактном теоретико-методологическом уровне, что даёт ей возможность быть связующей наукой, способной не просто интегрировать данные из разных исследовательских областей для получения новых знаний (как это было традиционно), но также регулировать и направлять информационные потоки в географических науках, способствовать развитию мультидисциплинарных исследований (что особенно актуально в настоящий момент).

Геоинформатика как средство взаимодействия в географических науках

Таким образом, геоинформатика, будучи самостоятельной научной дисциплиной, предоставляет средства информационного взаимодействия в географических науках. Под информационным взаимодействием понимается взаимодействие объектов, приводящее к

изменению знания хотя бы одного из них (Кузнецов, 2001). Роль геоинформатики в информационном взаимодействии внутри комплекса географических дисциплин видится нам в трёх аспектах: интероперабельность (interoperability) систем, интеграция (integration) и распространение (dissemination) географической информации.

Под *интероперабельностью* понимается способность системы, интерфейсы которой полностью открыты, взаимодействовать и функционировать с другими системами без каких-либо ограничений доступа и реализации. Интероперабельность и эффективность информационного взаимодействия неразрывно связаны друг с другом, поскольку участники информационного взаимодействия с точки зрения теории управления должны обладать согласованной информацией об используемых кодах, языках и их семантиках (Кузнецов, 2001). В данном случае под системой мы понимаем достаточно широкий спектр сущностей, которые могут взаимодействовать в рамках географических исследований: программные системы, системы методов, системы понятий, словари и т.д. В этом контексте можно выделить несколько уровней интероперабельности:

1. *Интероперабельность на уровне семантики (ИС)* или семантическая интероперабельность обеспечивает приведение словарей, классификаций, таксонов и прочих инструментов систематизации научных географических знаний «к общему знаменателю». Грубо говоря, семантическая интероперабельность позволяет специалистам из разных географических наук, приверженцам разных научных школ в одной науке, специалистам по разным географическим регионам и даже программным системам, использующим разный подход к предмету исследования, найти общий язык (Janowicz, 2010). Полная семантическая интероперабельность базируется на построении обширных онтологий и является наиболее абстрактным, высокоуровневым и важнейшим условием взаимодействия между специалистами в географических науках (Kalbasi et al., 2014).

2. *Интероперабельность на уровне данных (ИД)*, используемых для представления географической информации, реализуется на уровне моделей, структур и форматов данных, используемых разными специалистами. Интероперабельность данных позволяет, например, преобразовать данные, привычные по форме представления гидрометеорологу, в формат, удобный для восприятия специалистом экономико-географом и имеющий иную внутреннюю организацию. При этом выполнение преобразования опирается на правила онтологии, описывающие семантическую интероперабельность.

3. *Интероперабельность на уровне процессов* (ИП) позволяет конструировать сложные вычислительные модели развития природы и общества, задействующие модели и методы из разных географических наук. Так, например, результаты моделирования катастрофических паводков могут поступать в экономико-географическую модель, позволяющую вычислять экономический ущерб (Baburin et al., 2016), а данные о пространственной структуре городской среды, полученные средствами ГИС-технологий – подаваться на вход городских климатических и метеорологических моделей для выполнения более точных прогнозов (Samsonov et al., 2015). ИП позволяет реализовать модульный подход к построению таких географических моделей, дополнять их новыми вычислительными блоками, покрывающими разные аспекты функционирования природы и общества. ИП опирается в том числе на интероперабельность данных (необходимую для обмена данными между подсистемами) и на интероперабельность семантики (необходимую для получения результатов, обладающих заданным смыслом).

Интегрирующая роль геоинформатики более традиционна и по сути связана с возможностью организации всех знаний, данных и информации о конкретной географической области, полученных разными географическими науками – в виде баз пространственных данных, геоинформационных моделей и карт. Если интероперабельность позволяет разным областям географического знания и специалистам эффективно взаимодействовать друг с другом, но при этом существовать независимо, то функция интеграции связана с предоставлением геоинформационного подхода к моделированию окружающей среды по данным из разных источников. Результатом использования этого подхода служат геоинформационные системы, карты, вычислительные модели. При их использовании возможна генерация новых географических знаний.

Наконец, функция *распространения* заключается в том, что методы геоинформатики можно использовать, с одной стороны для организации доступа к данным – в этом случае карта или геоинформационная система используются как визуальный и аналитический интерфейс для исследования данных (Kraak, Ormeling, 2010), а с другой стороны – в целях обучения географическим дисциплинам и географическим методам путём создания интерактивных учебных геоинформационных систем. Традиционно задачей таких систем было обучение методам геоинформатики для выполнения географических исследований (Лурье, 1997).

В настоящий момент всё более актуальными становятся интерактивные компьютерные методы обучения во всех науках, как в школьном, так и в высшем образовании. Геоинформационные системы, использующие универсальный картографический язык для визуализации географических сюжетов и понятий, становятся средством организации учебных курсов через двух- и трёхмерный визуальный контекст в дополнение к традиционному линейному контексту текстовых учебников. Таким образом, появляется возможность создания разных типов учебных геоинформационных систем, ориентированных на обучение конкретной географической дисциплине. Такие системы могут быть построены по принципу интерактивных электронных атласов с автоматизированной навигацией по географическим локациям, временным отрезкам и областям проявления тех или иных географических явлений, процессов и объектов. Геоинформатика также служит средством интеграции учебных географических дисциплин, её технологии могут быть использованы при создании единых информационных образовательных пространств (Цветков, 2013).

Затрагивая тему геоинформационного образования, следует сказать, что за последнее десятилетие обучение геоинформатике в России стало массовым, на географических факультетах университетов курсы геоинформационного профиля слушаются в обязательном порядке (Лурье, Самсонов, 2016). Технологии ГИС значительно упростились с точки зрения использования, многие их функции стали доступны и даже привычны неподготовленным специалистам, в том числе через веб-интерфейсы и мобильные устройства. Поэтому, несмотря на то, что принципы создания учебных геоинформационных систем были разработаны еще 20 лет назад (Лурье, 1997), лишь в последние годы появилась реальная возможность сместить повестку геоинформационного образования от обучения небольшой элитарной группы специалистов геоинформатиков и картографов к формированию базового уровня понимания теории и методов геоинформатики у каждого географа (Goodchild, 2010).

Все эти изменения, происходящие в мире геоинформатики, как мы ранее неоднократно отмечали, затрагивают смежную область картографии. Картография преобразуется и приобретает роль массового инструмента в географических науках благодаря инновационным методам и технологиям ГИС. Можно с уверенностью утверждать, что картография никогда не была так популярна, востребована и широко используется, как в настоящий момент. В современном мире потребители карт часто являются и их создателями. Технологии построения карт в геоинформа-

ционных системах существенно упростились, а необходимая для этого компетенция географов благодаря развитию ГИС-образования значительно выросла. В результате этих процессов создание карт перестало быть исключительной прерогативой профессиональных картографов. На сегодняшний день в мире большая часть карт создаётся именно пользователями без профессиональной картографической подготовки (Griffin et al., 2017). И в этом контексте всё более значимой становится роль геоинформатиков и картографов как специалистов по формализации географического знания, разработке и реализации алгоритмов анализа и визуализации пространственных данных, которые бы обеспечили необходимый баланс геометрической точности, географической достоверности, функциональной полноты и вычислительной эффективности создаваемых ими пространственных моделей и программных комплексов.

Литература

- Аляутдинов А.Р., Лурье И.К., Ушакова Л.А. Основные принципы функционирования геоинформационных ресурсов // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. Т. 60. № 5. С. 123–128.
- Берлянт А.М. Геоинформационное картографирование. М.: «Астрей» 1997. 64 с.
- Жуков В.Т., Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. Математико-картографическое моделирование в географии. М.: Мысль, 1980. 224 с.
- Кошкарев А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика. М.: Картгеоиздат–Геоиздат, 1993. 213 с.
- Кузнецов Н.А. Информационное взаимодействие в технических и живых системах // Информационные процессы. 2001. Т. 1. № 1. С. 1–9.
- Лурье И.К. Геоинформатика: Учебные геоинформационные системы. М.: Изд-во МГУ, 1997. 115 с.
- Лурье И.К., Самсонов Т.Е. Основы геоинформатики. М.: геогр. фак-т МГУ, 2016. 200 с.
- Самсонов Т.Е. Мультимасштабное картографирование – новое направление картографии / Под ред. И.К. Лурье и В.И. Кравцовой // Современная географическая картография. М.: Дата+, 2012. С. 21–35.
- Сербенюк С. Н., Тикунов В.С. Автоматизация в тематической картографии. М.: Изд-во МГУ, 1984. 112 с.
- Сербенюк С.Н. Картография и геоинформатика – их взаимодействие / Под ред. В.А. Садовниченко. М.: Изд-во МГУ, 1990. 157 с.
- Цветков В.Я. Интеграция учебных дисциплин на основе геоинформатики // Управление образованием: теория и практика. 2013. Т. 1. № 9. С. 74–79.
- Ширяев Е.Е.. Картографическое отображение, преобразование и анализ геоинформации. М.: Недра, 1984. 248 с.

- Abdul-Rahman A., Boguslawski P., Gold C., Said M.* Advances in 3D Geoinformation. Cham: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-642-12670-3.
- Andrienko G.L., Andrienko N.V.* Interactive maps for visual data exploration // Intern. Journ. of Geographical Information Science. 1999. V. 13. № 4. P. 355–374. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/136588199241247>.
- Andrienko G., Andrienko N., Bak P., Keim D., Wrobel S.* Visual Analytics of Movement. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. 387 p.
- Andrienko G, Andrienko N., Chen W., Maciejewski R, Zhao Y.* Visual analytics of mobility and transportation: state of the art and further research directions // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. 2017. P 1–18. doi: 10.1109/TITS.2017.2683539.
- Andris C.* Integrating social network data into GISystems // Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2016. 8816 (March). P. 1–23.
- Anselin L.* Local Indicators of Spatial Association-LISA // Geographical Analysis. 1995. V. 27. № 2. P. 93–115. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>.
- Baburin V., Goryachko M., Zemtsov S., Krylenko I., Yumina N.* Integrated assessment of socio-economic risks of hazardous hydrological phenomena in Slavyansk municipal district // Natural Hazards. 2016. V. 82. № 1. P. 43–61.
- Baddeley A., Rubak E., Turner R.* Spatial Point Patterns: Methodology and Applications with R, Boca Raton. London, New York: CRC Press, 2016. 810 p.
- Biljecki F.* A scientometric analysis of selected GIScience journals // Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2016. V. 30. № 7. P. 1302–1335. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2015.1130831>.
- Brunsdon C., Fotheringham S., Charlton M.* Geographically Weighted Regression // Journ. of the Royal Statistical Society. Series D (The Statistician). 1998. V. 47. № 3. P. 431–443. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/1467-9884.00145>.
- Burrough P.A.* Principles of Geographic Information Systems for Land Resource Assessment. New York: Oxford Science Publications. 1986. 220 p.
- Burrough P.A., Frank A.U.* Geographic Objects with Indeterminate Boundaries. London: Taylor and Francis, 1996. 352 c.
- Cecconi A., Weibel R., Barrault M.* Improving automated generalisation for on-demand web mapping by multiscale databases // Eds. D.E. Richardson, P. van Oosterom. Advances in Spatial Data Handling. Berlin, Heidelberg; Springer, 2002. P. 515–531. doi: 10.1007/978-3-642-56094-1_38.
- Çöltekin A., Bleisch S., Andrienko G., Dykes J.* Persistent challenges in geovisualization – a community perspective // Intern. Journ. of Cartography. 2017. P. 1–25. doi: 10.1080/23729333.2017.1302910.
- Cressie N., Wikle C.K.* Statistics for Spatio-Temporal Data. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. 624 p.
- de Florian L., Marzano P., Puppo E.* Multiresolution models for topographic surface description // The Visual Computer. 1996. V. 12. № 7. P. 317–345. Available at: <http://www.springerlink.com/Index/10.1007/s003710050068>.
- Duckham M.* Decentralized spatial computing: Foundations of geosensor networks. Berlin: Springer, 2013. 320 p.

- Duckham M.* GIS Expertise // Transactions in GIS. 2015. V. 19. № 4. P. 499–515.
- Egenhofer M.J., Franzosa R.D.* Point-set topological spatial relations // Intern. Journ. of Geogr. Information Systems. 1991. V. 5. № 2. P. 161–174.
- Fotheringham A.S.* Trends in quantitative methods II: Stressing the computational // Progress in Human Geography. 1998. V. 22. № 2. P. 283–292.
- Gaffuri J.* Toward Web Mapping with Vector Data // Proc. of GIScience. 2012. P. 87–101. doi: 10.1007/978-3-642-33024-7_7.
- Goodchild M.F.* Geographical information science // Intern. Journ. of Geographic Information Systems. 1992. V. 6. № 1. P. 31–45.
- Goodchild M.F.* Citizens as sensors: The world of volunteered geography // GeoJournal. 2007. V. 69. P. 211–221.
- Goodchild M.F.* Twenty years of progress: GIScience in 2010 // Journ. of Spatial Information Science. 2010. V. 1. № 1. P. 3–20.
- Goodchild M.F., Aubrecht C., Bhaduri B.* New questions and a changing focus in advanced VGI research // Transactions in GIS. 2016. P. 1–2. Available at: <http://doi.wiley.com/10.1111/tgis.12242>.
- Goodchild M.F., Yuan M., Cova T.J.* Towards a general theory of geographic representation in GIS // Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2007. V. 21. № 3). P. 239–260.
- Gore A.* The digital Earth: understanding our planet in the 21st century // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1999. V. 65. № 5. P. 528–530.
- Griffin A.L., Robinson A.C., Roth R.E.* Envisioning the future of cartographic research // Intern. Journ. of Cartography. 2017. № 2. P. 1–8. doi: 10.1080/23729333.2017.1316466.
- Hengl T., Heuvelink G.B.M., Stein A.A.* Generic framework for spatial prediction of soil variables based on regression-kriging // Geoderma. 2004. V. 120. № 1–2. P. 75–93.
- Heuvelink G.B.M., Burrough P.A., Stein A.* Propagation of errors in spatial modelling with GIS // Intern. Journ. of Geographical Information Systems. 1989. V. 3. № 4. P. 303–322. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02693798908941518>.
- Ivan I., Singleton A., Horák J., Inspektor T.* (Eds.) The Rise of Big Spatial Data. Cham: Springer International Publishing, 2017. 418 p.
- Janowicz K.* Semantic interoperability // Encyclopedia of Geography / Ed. B. Warf. SAGE Publications, 2010. 4 p. doi: 10.4135/9781412939591.n1019.
- Janowicz K., Scheider S., Pehle T., Hart G.* Geospatial semantics and linked spatiotemporal data—past, present, and future // Semantic Web Journ. 2012. V. 3. № 4. P. 321–332.
- Jenny B.* Adaptive composite map projections // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2012. V. 18. № 12. P. 2575–2582.
- Jenny B., Šavrič B., Liem J.* Real-time raster projection for web maps // Intern. Journ. of Digital Earth. 2016. V. 9. № 3. P. 215–229. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17538947.2014.1002867>.
- Jenny B., Liem J., Šavrič B., Putman W.M.* Interactive video maps: A year in the life of Earth's CO₂ // Journ. of Maps. 2016. V. 12. Supl. № 1. P. 1–7.

- Jiang B., Yin J. Ht-Index for quantifying the fractal or scaling structure of geographic features // *Annals of the Association of American Geographers*. 2014. V. 104. № 3. P. 530–540. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00045608.2013.834239>.
- Kalbasi R., Janowicz K., Reitsma F., Boerboom L., Alesheikh A. Collaborative ontology development for the geosciences // *Transactions GIS*. 2014. V. 18. P. 834–851.
- Karimi H.A. (Ed.). *Advanced Location-Based Technologies and Services*. Boca Raton: CRC Press. 2013. 354 p.
- Kraak M.-J., Ormeling F. *Cartography: Visualization of Spatial Data*. 3rd edition. Abingdon: Routledge, 2010. 249 p.
- Lawhead J. *Learning Geospatial Analysis with Python*. Second Edition. Birmingham: Packt Publishing, 394 p.
- Li Z. *Algorithmic foundation of multi-scale spatial representation*. Boca Raton: CRC Press. 2007. 284 p.
- Lienert C., Jenny B., Schnabel O. Current trends in vector-based Internet Mapping: A Technical Review // M.P. Peterson, ed. *Online Maps with APIs and WebServices*. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. P. 23–36. doi: 10.1007/978-3-642-27485-5.
- Liu Z., Wang C., Lin Q., Liu Y. Review of the development of digital earth research during 1998–2015 based on a bibliometric analysis // *Intern. Journ. of Digital Earth*. 2017. V. 10. № 7. P. 749–763.
- McEachren A., Taylor D.R.F., eds. *Visualization in modern Cartography*. Oxford: Pergamon, 1994. 345 p.
- Mark D.M. Geographic information science: Critical issues in an emerging cross-disciplinary research domain // *Journ. of the Urban and Regional Information Systems Association*. 2000. V. 12. № 1. P. 45–54.
- Miller H.J., Goodchild M.F. Data-driven geography // *GeoJournal*. 2014. V. 80. № 4. P. 449–461.
- Muehlenhaus I. *Web Cartography: Map Design for Interactive and Mobile Devices*. Boca Raton: CRC Press, 2014. 262 p.
- Preparata F.P., Shamos M.I. *Computational Geometry*. New York, NY: Springer New York, 1985. doi: 10.1007/978-1-4612-1098-6.
- Regnauld N., Touya G., Gould N., Foerster T. Process Modelling, Web Services and Geoprocessing // *Abstracting Geographic Information in a Data Rich World*. Berlin Heidelberg: Springer, 2014. P. 197–225.
- Robinson A.C., Demšar U., Buckley A., Jiang B., Field K., Kraak M.-J., Camboim S.P., SLuter C.R. Geospatial big data and cartography: research challenges and opportunities for making maps that matter // *Intern. Journ. of Cartography*. 2017. P. 1–29. doi: 10.1080/23729333.2016.1278151.
- Roth R.E. Interactive maps: What we know and what we need to know // *Journ. of Spatial Inform. Science*. 2013. V. 6. № 6. P. 59–115.
- Samet H. *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*. Boston: Addison-Wesley. 1990. 510 p.

- Samet H.* Foundations of Multidimensional and Metric Data Structures. Elsevier–Morgan Kaufmann Publishers, 2006. 993 p.
- Samsonov T.E., Konstantinov P.I., Varentsov M.I.* Object-oriented approach to urban canyon analysis and its applications in meteorological modeling // Urban Climate. 2015. V. 13. P. 122–139.
- Scheider S., Gräler B., Pebesma E., Stasch C.* Modeling spatiotemporal information generation // Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2016. V. 30. № 10. P. 1–29. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2016.1151520>.
- Sester M., Brenner C.* A vocabulary for a multiscale process description for fast transmission and continuous visualization of spatial data // Computers and Geosciences. 2009. V. 35. № 11. P. 2177–2184. doi: 10.1016/j.cageo.2008.11.003.
- Singleton A.D., Spielman S., Brunsdon C.* Establishing a framework for Open Geographic Information science // Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2016. 8816 (February). P. 1–15.
- Slingsby A., Dykes J., Wood J., Clarke K.* Mashup cartography: cartographic issues of using Google Earth for tag maps // Proc. of ICA Commission on Maps and the Internet. 2007. P. 79–93.
- Slocum T.A., Blok C., Jiang B., Koussoulakou A., Montello D.R., Fuhrmann S., Hedley N.R.* Cognitive and usability issues in geovisualization // Cartography and Geographic Information Science. 2001. V. 28. № 1. P. 61–75. Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1559/152304001782173998> [Accessed May 24, 2013].
- Smith B., Mark D.M.* Geographical categories: an ontological investigation // Intern. Journ. of Geogr. Information Science. 2001. V. 15. № 7. P. 591–612. doi: 10.1080/13658810110061199.
- Stoter J., Post M., van Altena V., Nijhuis R., Bruns B.* Fully automated generalization of a 1:50k map from 1:10k data // Cartography and Geographic Information Science. 2014. V. 41. № 1. P. 1–13.
- Sui D.Z.* Tobler's first law of geography // Annals of the Association of American Geographers. 2004. V. 94. № 2. P. 269–277.
- Tavana M., Liu W., Elmore P., Petry F.E., Bourgeois B.S.* A practical taxonomy of methods and literature for managing uncertain spatial data in geographic information systems. Measurement // Journ. of the Intern. Measurement Confederation. 2016. V. 81. P. 123–162. doi: 10.1016/j.measurement.2015.12.007.
- Tomlin C.D.* Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1990. 572 p.
- van Oosterom P., Meijers M.* Vario-scale data structures supporting smooth zoom and progressive transfer of 2D and 3D data // Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2014. V. 28. № 3. P. 455–478.
- van Oosterom P., Stoter J.* 5D Data Modelling: Full Integration of 2D/3D Space // S.I. Fabrikant, ed. GIScience 2010, LNCS 6292. Lecture Notes in Computer Science. Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. P. 310–324.
- Wang J., Duckham M., Worboys M.* A framework for models of movement in geographic space // Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2015. 8816 (May). P. 1–23.

- Willett W., Jenny B., Isenberg T., Dragicevic P. Lightweight relief shearing for enhanced terrain perception on interactive maps // Proc. of the 33rd Annual ACM Conf. on Human Factors in Computing Systems – CHI '15. New York, New York, USA: ACM Press, 2015. P. 3563–3572. doi: 10.1145/2702123.2702172.
- Yan H., Li J. Spatial Similarity Relations in Multi-scale Map Spaces. Cham: Springer International Publishing. 2015. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-09743-5>.
- Yuan M. 30 years of IJGIS : the changing landscape of geographical information science and the road ahead // Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2016. V. 31. № 3. P. 1–10. Available at: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13658816.2016.1236928>.
- Yuan M., Stewart Hornsby K. Computation and Visualization for Understanding Dynamics in Geographic Domains. Boca Raton: CRC Press. 2008. 123 p.
- Zhang C., Zhao T., Li, W. Geospatial Semantic Web. Cham: Springer International Publishing, 2015. 194 p.

T.E. Samsonov

**GEOGRAPHICAL INFORMATION SCIENCE TODAY
AND ITS ROLE IN THE DEVELOPMENT OF CARTOGRAPHY
AND INTERACTION BETWEEN GEOGRAPHIC SCIENCES**

This article presents a review of key research directions that emerged in geographical information science since its development beginning from the end of 20th century. The central role of geographical information is shown as long as its variability that defines the main research challenges for modern specialists. Abstract types of geographic information, that attract the most attention today, are dynamic, real-time, big, streaming, heterogeneous, multidimensional, multiscale, volunteered and uncertain. Spheres of influence of GIScience on the development of cartography including theory of cartographic interfaces and geovisualization, service-oriented architecture and automation of computationally intensive tasks are highlighted. The role of geographical information science in interaction between the geographic sciences is defined in facilitation of systems interoperability, integration and dissemination of geographic information.

ТЕМАТИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н.А. Алексеенко

ДАННЫЕ ОБ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КАК ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Введение

Сбор данных о различных составляющих природных ресурсов – это первый шаг на пути к пониманию функционирования экосистем в охраняемых территориях. Эти экосистемы меняются во времени, как и знания о них, меняются методы их изучения и способы интерпретации полученной информации. Данные можно использовать для анализа, синтеза и моделирования различных аспектов взаимодействия природы и человека.

В данных, собираемых на особо охраняемых природных территориях (ООПТ), заинтересованы государственные структуры, природоохранные организации, коммерческие фирмы, занимающиеся реперепланировкой территории или добычей и переработкой ресурсов, научные организации и отдельные учёные, школьные учителя. Широкая общественность должна быть информирована о ресурсах своих охраняемых территорий.

Цель нашего исследования состоит в том, чтобы проанализировать возможность использования данных, собираемых на ООПТ, различными категориями пользователей и предложить структуру их организации.

Данные, получаемые на особо охраняемых территориях

Данные на охраняемых территориях могут быть получены в результате инвентаризации, мониторинга и исследования. *Инвентаризация* представляет обширное описание на определённый момент времени состояния какого-либо ресурса (биотического или абиоти-

ческого), в том числе его распределение, компоненты и прочие характеристики. *Мониторинг* отличается от инвентаризации добавлением временной составляющей (динамикой), а общая цель мониторинга состоит в обнаружении изменения или тенденции наблюдаемого ресурса. Мониторинг природных ресурсов проводится в первую очередь для двух целей: 1) выявления тенденции изменений в численности ресурсов, состояния, структуры; 2) оценки влияния какого-либо воздействия (природного или антропогенного).

Причинно-следственные связи, как правило, не могут быть обнаружены непосредственно по данным мониторинга, но эти данные позволяют предположить наличие определённых связей, что затем можно доказать или опровергнуть исследованием. *Исследование* определяется как направленный сбор данных, производящий новые знания или зависимости и, как правило, включающий экспериментальный подход, в котором гипотеза о вероятной причине наблюдения тестируется в различных ситуациях. Исследование имеет целью понимание экологических процессов, а также в некоторых случаях определяет методы и методологии их изучения в дальнейшем (Системное ..., 2015, Thematic...2010).

Таким образом, мониторинг служит инструментом, используемым для идентификации изменений, а исследование – для определения причины изменения. Нельзя надеяться на то, что мониторинг, проводимый штатными сотрудниками ООПТ, может помочь объяснить сложные взаимоотношения в экологических системах; для этого, как правило, требуются более целенаправленные исследования. Во всех трёх случаях (инвентаризация, мониторинг, исследование) идёт сбор данных.

Поскольку потребность в эффективном использовании информации о природных ресурсах в стране, где они являются одним из основных источников дохода, очевидна, за управление данными должны отвечать структуры федерального уровня. Сбор данных в результате столетней комплексной инвентаризации и мониторинга природных ресурсов российскими ООПТ многопланов и требует государственной программной стратегии.

Есть несколько положительных предпосылок для организации собираемых на ООПТ России данных: во-первых, поскольку весь набор данных на охраняемых территориях состоит из наблюдений и измерений, проведённых в определённых географических районах, то все их наборы по своей сути подходят для управления географической

информационной системой; во-вторых, наборы данных имеют модульную структуру (по природным компонентам, по определённым территориям), что даёт большую гибкость в удовлетворении потребностей различных пользователей как предметно, так и территориально. При наличии такой базы данных некоторые решения могут быть выработаны достаточно быстро и без значительных затрат на сбор информации. Кроме того, любой из модулей может быть изменён, не затрагивая функциональности других; в-третьих, с помощью обработки модульных наборов данных можно избежать больших начальных инвестиций, необходимых для централизованного создания базы данных ООПТ России, и сопутствующих трудностей интеграции разрозненных данных с очень разным подходом к их сбору и представлению.

Единое управление данными не является самоцелью охраняемых территорий, но должно быть целью государства, имеющего разветвлённую сеть бюджетных ООПТ. База данных ООПТ России станет средством возврата денежных вложений путём максимизации качества и полезности информации о природных ресурсах. В самом общем виде схема отношений представляется достаточно простой. ООПТ поставляют данные, собранные на основе высокого стандарта качества. Государственная структура предоставляет их потребителям на каких-то условиях. Виды данных, охватываемых инвентаризацией, мониторингом и исследованиями делятся на три основные категории: а) стандартный для всех заповедников и некоторых национальных парков набор из «Летописи природы»; б) специальные, имеющие системный характер, наборы данных, присущие только конкретной охраняемой территории; в) разрозненные данные, собранные на территории ООПТ внешними учреждениями, в рамках своих программ.

Схема создания базы данных ООПТ России

Большинство предоставленных ООПТ данных будут собраны полевыми методами. Именно в этом их непреходящая ценность, а ещё в продолжительности периода набора, который может быть больше, чем время построения карьеры конкретного учёного. Отвечать за качество всех данных должна та охраняемая территория, которая их предоставляет. Эта часть схемы создания предполагаемой базы данных ООПТ России, которая работает уже много лет, имеет положительный

опыт, отмеченный многими международными природоохранными организациями, но, к сожалению, надо отметить, начавшая его терять.

Государственная структура собирает, хранит и предоставляет данные пользователям – это вторая часть схемы, которая тоже имеет опыт сбора и хранения ежегодных отчётов каждой федеральной ООПТ сначала в бумажном, а в последнее время в электронном виде. Есть сводные отчёты соответствующих министерств (в разные годы – различны) (Степаницкий, Крейндин, 2004; Кревер и др., 2009). В части «предоставление» система не работала никогда. Работу требуется начинать на совершенно другой технологической платформе, и её планирование видится в пять основных этапов, каждый из которых характеризуется определённым набором видов деятельности (даны в скобках).

1. *Установление целей и объёмов.* Крайне важно, чтобы разработчики и персонал ООПТ работали вместе на первом этапе, для того, чтобы установить, какие данные будут собираться, как они будут использоваться, и каковы дополнительные требования к их управлению. Методы сбора и обработки данных изменяются в зависимости от территорий, учёных, проектов и пр., поэтому все аспекты сбора данных должны быть указаны.

2. *Проектирование.* Устанавливаются технические характеристики для того, чтобы данные собирались, обрабатывались, анализировались, передавались в соответствии с требованиями доступности для других. Прорабатываются вопросы хранения каталогизированных коллекций, бумажных архивов, фотографических материалов и пр. Сюда входит разработка методологии или адаптация существующих методов сетевых технологий, определение процедур и руководящих принципов, форматов предоставления, проектирование структуры базы данных.

3. *Определение требований к содержанию.* Оговариваются конкретные переменные, которые будут собраны, описаны детали их оформления, словари терминов, понятий и пр. Документируется содержание метаданных. Проекты ООПТ, которые проводятся совместно с другими учреждениями и с использованием общих данных, могут иметь дополнительные требования. Кроме того, принимаются требования к возможности интеграции результатов. Создаются формы и их содержание, иницируются разработки метаданных при сохранении авторских прав и необходимой секретности.

4. *Тестирование.* На этом этапе данные с нескольких тестовых ООПТ обрабатываются, выверяются, вносятся поправки, и данные становятся доступны потребителям. На этом этапе происходит ввод данных, их рецензирование, сертификация, предварительная экспериментальная работа, корректировка процедуры по мере необходимости.

5. *Интеграция продукта и предоставление данных.* На этом, завершающем этапе, когда данные и результаты их обработки уже представляют единую систему, возможна их интеграция в национальную базу данных вместе с метаданными. Систематизированные данные могут распространяться или предоставляться для определённых целевых аудиторий.

Система управления данными должна отвечать следующим требованиям:

а) *качество* обеспечивается надлежащей обработкой, обобщением и анализом, при условии составления отчётов и надёжного хранения. Утверждённые стандарты и процедуры помогут избежать многих проблем, но не менее важной частью обеспечения качества служит профессионализм и добросовестное отношение всех сотрудников, участвующих в процессе получения данных;

б) *доступность* данных, собранных на охраняемых территориях, достигается путём разработанной системы документирования и должного её поддержания. Важное значение имеет разработка стандартов для локальных баз данных с целью обеспечения совместимости их наборов с учётом непредсказуемых форматов и разных способов представления собранной информации. Общие поля в атрибутивных таблицах (например, название территории, местонахождение, списки видов и пр.) облегчают интеграцию и позволяют облегчить их интерпретацию. Насколько это возможно, стандарты для полей, таблиц и других объектов базы данных должны отражать те, характеристики территорий, по которым собирается информация во всех ООПТ одного иерархического уровня;

в) *безопасность* хранения данных обеспечивается представлением их в цифровой форме. Данные сохраняются в среде, которая обеспечивает оговорённые уровни доступа для руководителей охраняемых территорий, узких специалистов, лиц, принимающих решения, и других пользователей. Технически система управления данными может использовать существующие технологии сетевой безопасности, либо усилить их мерами, направленными на обеспечение долгосрочного и целостного хранения данных.

Мировой опыт организации данных, собираемых охраняемыми территориями

Невозможно возложить технические и технологические стороны вопроса непосредственно на ООПТ. Мировая система ООПТ не знает примеров самоорганизации охраняемых территорий в единой информационной сети. Можно лишь вспомнить государства, которые непосредственно организовывали природоохранную деятельность (Федеральный закон..., 1995; Закон Республики Казахстан..., 2006; Закон Республики Узбекистан..., 2014; Arctic..., 2009; Development..., Long-term..., 2007).

В США разработана (но не заработала в полную силу) всеобъемлющая стратегия для сбора, документирования, безопасного хранения данных с целью их доступности и полезности в течение многих десятилетий в будущем. На национальном уровне поддержка управления данными из Вашингтонского офиса включает хостинг и поддержание баз данных о природных ресурсах охраняемых территорий на национальном уровне. Эти онлайн-приложения включают: 1) *NatureBib* – главную базу данных библиографических ссылок о природных ресурсах; 2) *Biodiversity Data Store* – цифровое хранилище документов, карт и наборы данных, которые предоставляют информацию о биоразнообразии в отдельных национальных парках, в том числе наличие или отсутствие, распределение и обилие; 3) *NPSpecies* – приложение базы данных биоразнообразия, которое содержит список видов, находящихся в или вблизи каждого парка, а также физическое или письменное подтверждение существования вида (ссылка на публикацию, фото, описание наблюдения, сертификат); 4) *NR-GIS Data Store* – это централизованное хранилище для данных и вторичных данных и знаний и графический интерфейс поиска, который предоставляет и метаданные.

Служба национальных парков США (NPS) определяет сбор и анализ данных как процесс, с помощью которого наблюдения за природными ресурсами преобразуются в значимую информацию. Это широкое понятие должно в будущем включать целый ряд мероприятий, таких как применение статистических тестов и моделей, интерпретацию данных дистанционного зондирования и сравнение разновременных фотографий.

Инфраструктура управления информацией предполагает её избыточность, то есть данные полностью подвергаются резервному ко-

пированию и хранятся за пределами площадки. Условие очень важно для восстановления информации в случае локальной катастрофы на одном из сайтов. Предполагается, что эти данные будут доступны уполномоченному персоналу через веб-портал IMS в Университете штата Мичиган и Университете штата Колорадо.

Для базы данных NPS разработаны определённые требования: например, обязательные метаданные должны соответствовать стандартам Федерального комитета по географическим данным (FGDC), процедура сбора данных о растениях – Национальной Биологической информационной инфраструктуре (NBI). Вся документация должна храниться с сопутствующим набором данных на сервере Службы национальных парков и её веб-портале, где они визуализируются и распространяются.

База данных NPS интегрирована в национальную систему данных и доступна на её геопортале. Пока там публикуются отчёты национальных парков; для разных пользователей уровень доступа определяется при регистрации, а для широкой общественности существует возможность прочитать отчёты в PDF-формате, просмотреть списки видов и графики динамики некоторых показателей, здесь представлено ограниченное количество карт и схем, есть возможность совместить данные с картой и пр.

NPS разрабатывает веб-портал в качестве основного механизма для распределения данных. Сайт основан на реляционной базе данных SQL, использует Интернет-технологии и картографический сервис. Информационная инфраструктура базы данных опирается частично на ООПТ, на региональный и национальный ИТ-персонал и ресурсы для поддержания инфраструктуры компьютерной техники. Национальные ИТ-специалисты управляют всеми аспектами безопасности системы и резервного копирования. Это включает (но не ограничивает) замену оборудования, установку программного обеспечения и поддержку обновления для системы безопасности, защиту от вирусов, телекоммуникационные сети, а также резервное копирование серверов. Связь ООПТ и региональных/национальных ИТ-специалистов весьма важно для обеспечения обслуживания непрерывности функционирования системы. Система технической поддержки NPS имеет четыре уровня: национальный, региональный, сетевой (сеть национальных парков) и локальный.

Начало работ по созданию прототипа национальной программы мониторинга национальных парков США «Ltem» было положено в начале 1990-х годов, чтобы попытаться узнать, как разрабатывать

научно обоснованные и экономически эффективные программы мониторинга экологических параметров большинства единиц NPS. Большая часть проектирования, разработки, тестирования и мониторинга проводилась в тестовых парках в сотрудничестве с учёными из Геологической службы США.

В 2000 г. в рамках программы «Challenge» NPS внедрила новую стратегию мониторинга природных ресурсов в парках, в результате чего 270 парков были организованы в 32 группы, связанные по территориальному признаку и сходным характеристикам природных ресурсов. Такой подход, по мнению разработчиков, будет способствовать минимизации расходов и обеспечению парков с неразвитой сетевой инфраструктурой на этапе начала мониторинга природных ресурсов. В рамках «Challenge» её прототип «Item» вложен в сетевую структуру и предоставляет экспертные знания и поддержку. Уровень финансирования программы пока не позволяет вести комплексный мониторинг во всех парках, но обеспечивает минимальную инфраструктуру для начала мониторинга природных ресурсов в них.

Минимальный набор данных инвентаризации требует от всех парков данные более чем по десяти пунктам, включая различные биотические и абиотические компоненты экосистемы, такие как: использование природных ресурсов (библиография), базовые картографические данные, карты – геологическая, почвенная и растительности, данные о погоде и качестве воздуха, расположении гидропостов с данными о качестве воды, список видов позвоночных животных и сосудистых растений.

Предложения по наполнению базы данных ООПТ России

Схема сбора и предоставления данных мониторинга NPS может быть взята за основу при создании базы данных ООПТ России, особенно в технологической части. В содержательной она может быть гораздо глубже и шире. Однако бесчисленные массивы данных, собранных российской системой ООПТ, стали непригодными для использования; частью они физически утеряны, у другой части устарел формат, нередко в них не хватает данных для определения методов сбора, масштабов и целей их получения. Технологическое устаревание пока не служит причиной потери информации в российских ООПТ, но в дальнейшем

эта проблема будет сказываться всё ощутимее: данные скоро станут недоступными для пользователей, так как созданы на устаревшем программном оборудовании и старых компьютерах. Эффективное хранение цифровых файлов зависит от надлежащего управления постоянно меняющейся инфраструктурой оборудования, программного обеспечения, форматов файлов. Для программного и аппаратного развития наборы данных должны периодически переноситься на новые платформы или сохраняться в новых форматах, а места хранения информации (компьютеры, диски и пр.) должны обновляться.

Полный набор метаданных – важнейший компонент управления данными. Однако в России не разработаны стандарты национального уровня. В некоторых ООПТ автономные базы данных хорошо работают на уровне проекта, но они не эффективны для анализа всех экологических показателей и не способствуют управлению экосистемами или всей охраняемой территорией. База данных ООПТ России, скорее всего, должна носить двухуровневый характер: федеральный и региональный. На федеральном уровне должна интегрироваться информация федеральных охраняемых территорий, на региональном, соответственно, региональных. В перспективе, они должны быть объединены.

Однако существует несколько сложных моментов, не позволяющих в скором времени создать действующую базу данных: нет хорошего примера работающей зарубежной базы данных национальной сети охраняемых территорий, которую можно было бы использовать в качестве идеального примера; в нашей стране не разработаны стандарты предоставления информации для инфраструктуры пространственных данных и сама эта инфраструктура находится в зачаточном состоянии; в Министерстве природных ресурсов РФ нет соответствующего подразделения, которое было бы ответственно за создание такой базы данных; далеко не в каждой ООПТ России есть ГИС-специалист или подобные специалисты, которые могут решить технологические вопросы организации и передачи информации самостоятельно.

Государственное участие было бы гораздо эффективнее, если бы помимо сбора и распределения информационных ресурсов, оно поставило охраняемым территориям данные, которые в картографии/геоинформатике принято называть базовыми. Речь, прежде всего, идёт о содержании государственных топографических карт в цифровом формате. В СССР имела практика предоставления заповедникам набора топографических карт крупных масштабов на всю терри-

торию (иногда до масштаба 1:25 000), сейчас ситуация «размылась». В каких-то заповедниках материалы были конфискованы, в каких-то утеряны (из-за постоянной смены руководства), в остальных используются в том или ином виде, несмотря на моральное устаревание. Резюмируя, скажу, что заповедным территориям необходимы базовые общегеографические данные, по возможности всего масштабного ряда, особенно с детальными данными о рельефе.

Особо охраняемые территории нуждаются также в данных космической съёмки. В настоящее время используются данные дистанционного зондирования, находящиеся в открытом доступе (Яндекс, Бинг, Гугл), иногда бесплатные снимки, заказанные в NASA (США). Подобную многоканальную информацию вполне могли бы поставлять российские действующие съёмочные системы Ресурс-П, Канопус и др. Большой интерес для ООПТ представляет также климатическая, гидрологическая и иная природная информация, собираемая государственными организациями.

Весьма важную роль в тематических данных играет картографическая составляющая, такие карты становятся базовыми для иных карт природы, которые не могут быть составлены собственными силами заповедных территорий. В самом общем виде итакой перечень состоит из геологической, почвенной, ландшафтной, геоботанической карт.

В Российской Федерации созданы государственные геологические карты масштаба 1:1 000 000 и 1:200 000 (на часть территории), ведутся работы по обновлению почвенной карты масштаба 1:1 000 000 (с учётом изменений в классификации). Других тематических государственных карт, к сожалению, не существует. В какой-то мере полезны карты масштаба 1:4 000 000 из серии «Для ВУЗов», созданные во времена расцвета советской государственной картографии.

Единой классификации типов ландшафтов и растительных сообществ ни в мире, ни в России нет. На вузовских картах использована авторская типолого-географическая классификация. Подразделения сгруппированы в соответствии с их зональным и зонально-поясным положением с учётом динамических, экологических и других связей. При составлении особое внимание обращено на локализацию ареалов в соответствии с географическими условиями местообитания (высотные ступени, увлажнение, почвы, структура, динамика развития и т.д.).

На примере ландшафтной карты (классификация А.Г. Исаченко) было показано, что детальность карт на территорию СССР масштаба

1:4 000 000 вполне соответствует уровню региональных исследований (вплоть до масштаба 1:1 000 000), но требует внесения корректив за прошедший промежуток времени. Для использования в охраняемых территориях карты из этой серии должны быть обновлены (Алексеевко, 2015).

Заключение

Выполненное исследование показывает, что в Российской Федерации назрела необходимость создания единой базы данных с целью сбора, обработки и передачи информации и знаний, получаемых на территориях федеральной и региональной сети особо охраняемых природных территорий. Такая качественная база данных может существенно оптимизировать управление территорией и природными ресурсами как в отдельном регионе, так и во всей стране.

База данных ООПТ России должна создаваться на основе постоянного государственного участия и контроля. Мировая система ООПТ не знает примеров работающей национальной базы данных такого уровня наполнения. Предпосылки для её создания существуют в России, где система ООПТ имеет 100-летнюю историю систематизированного сбора данных, в котором участвовали и ведущие научные школы страны.

Литература

- Алексеевко Н.А. Анализ ландшафтной репрезентативности сети ООПТ Камчатского края с применением картографического метода исследования // Вест. Дальневосточного отделения РАН. 2015. № 2. С. 126–133.
- Закон Республики Казахстан от 07.07.2006 № 175-III «Об особо охраняемых природных территориях» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 20.02.2017 г.); <http://online.zakon.kz>
- Закон Республики Узбекистан «Об охраняемых природных территориях» от 04.09.2014 г. № ЗРУ-373; <http://www.uznature.uz>
- Кревер В.Г., Стишов М.С., Онуфрена И.А. Особо охраняемые природные территории России: современное состояние и перспективы развития. WWF России, 2009. 458 с.
- Системное развитие научных исследований и экологического мониторинга в российских ООПТ федерального значения: программные документы / Под ред. Г.А. Фоменко. Ярославль: АНО НИПИ «Кадастр», 2015. 200 с.

Степаницкий В.Б., Крейндин М.Л. Государственные природные заповедники и национальные парки России: угрозы, неудачи, упущенные возможности. М.: Гринпис России, 2004. 49 с.

Федеральный закон от 14 марта 1995 г. № 33-ФЗ «Об особо охраняемых природных территориях», <http://zakonbase.ru>

Arctic Network Vital Signs Monitoring Plan, Natural Resource Report NPS/ARC/NRR – 2009, 166 p.

Development Management Dartmoor National Park <http://www.dartmoor.gov.uk>

Long-term Ecological Monitoring Plan Great Lakes Inventory and Monitoring Network, Natural Resource Report NPS/GLKN/NRR–2007. 174 p.

Thematic Accuracy Assessment Procedures National Park Service Vegetation Inventory. Version 2.0. Natural Resource Report NPS/NRPC/NRR, 2010. 204 p.

N.A. Alexeenko

DATA OBTAINED IN NATURAL PROTECTED AREAS AS INFORMATION FOR MANAGEMENT AND TERRITORIAL PLANNING

The article discusses the possibility of using data obtained from the Russian Natural protected areas in the process of work for managing territories of different hierarchical level. The data is classified according to the methods by the means of which it was obtained and a set of other parameters. Research indicates that there are no publicly available operating systems for the organization, collection, storage, and use of data collected from Natural protected areas. In Russia due to various reasons there is much interest for the creation of such system. The study proposes a sequence of stages for construction of such a system, outlines the requirements, and explained the role of spatial data in it. The necessity of state participation in the system is defined and the lists of cartographic materials which can serve as its basis is presented.

И.Ф. Петрова

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОСТАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ

Введение

К настоящему времени создано большое число карт экологического содержания и оно продолжает расти, однако их разработка и создание до сих пор протекают в значительной степени стихийно, что связано с отсутствием единой идейной и методологической базы. Практика создания карт идёт в отрыве от теоретических разработок и нормативно-методических документов, которые зачастую вообще отсутствуют (Петрова, 2007). Назрела насущная необходимость дать обобщающую панораму этого раздела картографирования, оценить его состояние и сделать конкретные предложения по концепции, методологическим основам и технологии создания эколого-географических карт, ориентированных, в том числе, и на решение практических вопросов. Эта задача актуальна ещё и потому, что открываются широкие перспективы по применению компьютерных технологий и созданию принципиально новых карт на базе современных ГИС (Верещака, Петрова, 2011). Таким образом, объект нашего исследования – это процесс эколого-географического картографирования.

Объекты самого эколого-географического картографирования многообразны и разноплановы, поэтому для их отображения необходим системный подход, позволяющий представить их на картах разной тематики как элементы единой системы, во взаимосвязи с другими компонентами. Именно такой подход даёт возможность моделировать эколого-географические ситуации в виде серий согласованных карт, отражающих отдельные аспекты этих ситуаций, их временные срезы, обобщающие интегральные показатели.

Сущность эколого-географического картографирования

Сущность эколого-географического картографирования диктуется его основной целью – адекватным и объективным отображением на карте эколого-географических ситуаций. При этом в качестве основы мы принимаем следующие положения.

Неоднозначность субъектно-объектных отношений картографируемых единиц. Один и тот же объект (процесс или явление) могут выступать одновременно как объект или субъект (реципиент) оценки, адресат экологической информации. Например, селитебные территории и сельскохозяйственные земли являются одновременно источниками негативного воздействия на ландшафты и реципиентами негативного воздействия (как своего собственного, так и других источников). Помимо того население может быть адресатом экологической информации.

В большинстве случаев промышленность и транспорт выступают как объекты эколого-географического картографирования. Однако в ходе проектирования промышленных и транспортных сооружений составляется серия специальных карт, включающих и эколого-географические, одной из целей которых служит исключение влияния опасных природных и природно-антропогенных процессов. Таким образом, адресатом для этих карт выступают сами промышленные сооружения и транспортные пути.

В зависимости от выбранного субъекта (реципиента) и адресата экологической информации будут меняться объекты картографирования, набор картографируемых показателей, используемые подходы и методы, критерии оценки, масштабы карт и способы изображений. С выбором субъекта и адресата экологической информации связана проблема «центричности» эколого-географического картографирования. Карты аналогичного содержания могут быть центрированы на разных реципиентов и являться био-, гео-, антропо-, демо- или полицентрическими.

Унификация понятийного аппарата. В условиях пока недостаточной разработанности такого аппарата приходится констатировать необходимость формирования и развития понятий, относящихся как в целом к эколого-географическому картографированию, так и к его отдельным категориям. Например, в литературе наблюдается многообразие подходов к названию общей интегрированной оценки территории с экологических позиций: экологическая обстановка; экологическое состояние; экологическая ситуация; эколого-географическая ситуация; экологические условия; экологические обстоятельства; экологическая напряжённость. Эти термины используются и на эколого-географических картах, но отсутствует единое общепризнанное определение перечисленных терминов.

Некоторые авторы разделяют эти понятия. Как указывает Л.И. Мухина (1997), несмотря на то, что в русском языке термины «обстановка»,

«ситуация», «условия», «обстоятельства» часто употребляются как синонимы, при определении термина «обстановка» делается упор на то, что это обстоятельства, условия существования кого- (чего-)нибудь. Термин же «состояние» (атмосферы, почв, растительности и т.д.) нейтрален. Слово-сочетание «экологическое состояние» следует считать некорректным. Как только геосистема центрируется на определённый субъект, следует ввести понятие экологическая обстановка (или ситуация) для кого-нибудь или чего-нибудь. При одном и том же состоянии геосистемы экологическая обстановка для разных субъектов может быть разной (даже с полярным знаком: благоприятной для одних и неблагоприятной для других).

Однако большинство авторов, в том числе составители карт, не делают различия между этими понятиями (Методические рекомендации ..., 2005; Пурдик, 2000 и др.). Например, карта называется «Эколого-географическая обстановка», а в легенде указано экологическое состояние (Экологический атлас ..., 2002); карта называется «Современное состояние окружающей среды», а в легенде представлены экологические ситуации (Природные ресурсы..., 2003).

С учётом сложившейся картографической практики и терминологических особенностей разных научных школ можно считать близкими такие термины: экологическая обстановка, экологическая (или эколого-географическая) ситуация, экологическое состояние, экологические условия, экологические обстоятельства, экологическое качество (окружающей среды), напряжённость экологической ситуации.

Неразработанность теоретико-методологической базы ведёт к тому, что каждый автор, составляя карту экологического состояния, базируется на собственном видении этого термина. В подавляющем большинстве случаев читателю авторская концепция не известна и он имеет дело только с конечным продуктом – картой. Лишь в редких случаях авторы дают пояснения, что они понимают под экологическим состоянием при составлении карты. Например, И.Н. Рубанов и В.С. Тикунов, описывая методику картографирования экологического состояния окружающей среды регионов России, указали, что под экологическим состоянием окружающей среды они понимали её изменение и загрязнение в результате хозяйственной деятельности (Рубанов, Тикунов, 2007). Подобные проблемы существуют на эколого-географических картах любой тематики (Петрова, 2008, 2009).

Инвариантность территориальных единиц картографирования.

Положенные в основу базовых эколого-географических карт террито-

риальные единицы (единицы «жесткого» территориального каркаса по Б.И. Кочурову, 2003), операциональные единицы по Г.А. Исаченко (2001), операционные территориальные единицы по В.И. Стурману (2003) и др.) могут быть взяты с физико-географических тематических карт (ландшафтной, геоботанической, почвенного покрова, геоморфологической и т.д.), составленных с учётом современного (на момент создания карты) использования земель и учитывающих сочетание дискретности и континуальности границ природных и природно-антропогенных ландшафтов. Прочие возможные ячейки картографирования (речные бассейны, водохозяйственные участки и т.п.) либо являются производными и создаются в процессе преобразования базовой карты, либо назначаются искусственно (административные единицы, геометрическая сетка и т.п.).

Темпоральные аспекты пространственно-временного мониторинга картографируемых эколого-географических объектов. Учёт эволюции, истории и динамики развития природных и природно-антропогенных систем, отдельных объектов и т.п. обеспечивается составлением разновременных частных и комплексных эколого-географических карт. Частота временных срезов зависит от специфики самого исследуемого объекта, экологических факторов (включая антропогенные), наличия необходимых данных. Оценка динамики развития представляет собой основу для разного рода прогнозов и рекомендаций.

Обязательность представления в качестве итоговых карт серий – прогнозных и рекомендательных. Доля прогнозных и рекомендательных карт среди всего массива эколого-географических карт сейчас невелика. Чаще всего разные типы прогноза и рекомендации служат лишь фрагментом нагрузки многоцелевых комбинированных карт. Содержание прогнозных и рекомендательных эколого-географических карт весьма разнообразно. Прогноз и рекомендации могут даваться для разных сценариев антропогенного воздействия, для разных сценариев динамики природной среды (долгосрочные прогнозы с учётом глобальных изменений климата, краткосрочные прогнозы сухих и влажных лет и т.п.), для разной степени вероятности наступления изучаемого события (землетрясения, вулканизм) и т.п.

Прогнозные оценки необходимо сопровождать временными характеристиками, поскольку это конкретизирует прогноз и позволяет его использовать при разработке самых разных рекомендаций и т.п. При этом для получения эколого-географической информации ныне широко привлекаются данные дистанционного зондирования. Во

многих случаях они оказываются основным, а иногда и единственным источником для создания соответствующих тематических карт.

Компьютеризация эколого-географического картографирования.

Использование компьютерных технологий открыло перед эколого-географическим картографированием новые перспективы и ознаменовало собой переход на новый качественный уровень (Верещака, Петрова, 2011). Значительно увеличилось количество создаваемых карт, так как упростилось их составление (например, при использовании способов картограмм и картодиаграмм) и появилась возможность создания необходимых при экологических исследованиях оперативных карт, а также возникли новые подходы к созданию карт синтезированных показателей – экологических опасности, риска, состояния и др.

Особенности эколого-географического картографирования

Такие особенности проистекают из свойств объектов картографирования. Основная специфика эколого-географического картографирования – его многовариантность, проявляющаяся в разных аспектах.

1. *Многокритериальность классификаций* объектов (процессов или явлений) эколого-географического картографирования. Реализуется созданием нескольких параллельных классификаций (оценка качества воды для разных целей, оценка рисков для разных видов и при разных сценариях проектируемой деятельности и т.д.).

2. *Серийность проектирования* эколого-географических карт в рамках одной темы независимо от их назначения и содержания в соответствии с основаниями применяемых классификаций. Это позволяет раскрыть многогранность экологических ситуаций и многообразие подходов к их оценке. Технологически достигается использованием компьютерных методов картографирования и, в частности, ГИС-картографирования.

На необходимость составления серий эколого-географических карт указывали многие специалисты. Например, по мнению А.Г. Исаченко (1981), многообразие взаимоотношений человека с географической средой и связанных с ними экологических проблем нельзя отобразить на одной карте, которая отражает только один аспект проблемы; эколого-географическое картографирование в полной мере раскрывает свои возможности в создании серии, или системы, карт, которая может быть представлена в форме атласа.

Важно определение набора карт в проектируемой серии, который зависит от назначения карт, масштаба исследования, степени изученности территории, временного охвата, многообразия существующих и потенциальных экологических проблем и т.п. Одни карты могут быть основными, другие вспомогательными (рабочие материалы или источники информации), третьи – итоговыми. По мнению А.Г. Исаченко (2003), первая задача, возникающая при создании серий эколого-географических карт, заключается в минимизации их набора при сохранении строгой целенаправленности содержания и его возможной стандартизации. Мы считаем, что не следует стремиться к минимализации набора карт в серии и этот набор не поддается стандартизации в отличие от возможной унификации подходов и методов.

3. *Многообразие показателей и единиц измерения* картографируемых объектов, процессов и явлений. Проблема установления и выбора показателей и единиц их выражения для отображения количественных и качественных характеристик картографируемых объектов, процессов и явлений в эколого-географическом картографировании однозначно не решена. Анализ карт показал многообразие подходов к выбору показателей и единиц (Петрова, 2009, 2010). Наиболее широкий спектр показателей используется для показа загрязнённости компонентов геосистем: единичные и интегральные, абсолютные и относительные, количественные и качественные, прямые и косвенные.

Ситуацию усложняет отсутствие во многих случаях соответствующих нормативных документов и методических указаний. Но даже при их наличии наблюдаются определённые трудности. Например, при использовании гидрохимического индекса загрязнения вод (ИЗВ), который чаще всего применяется при картографировании, следует учитывать, что сравнение ИЗВ между собой должно проводиться для водных объектов одной биогеохимической провинции и сходного типа, для одного и того же водотока (по течению, во времени, и т.д.), а также с учётом фактической водности текущего года. В расчёт ИЗВ входят значения ПДК, которые зависят от назначения водоёма (рыбохозяйственное или хозяйственно-питьевое); следовательно, значение ИЗВ зависит от того, какие ПДК взяты, и без чёткой расшифровки этого в легенде или сопроводительном тексте сопоставление этих коэффициентов не корректно. Удельный комбинаторный индекс загрязнённости отличается от ИЗВ тем, что учитывает, помимо превышений ПДК среднегодовыми концентрациями загрязняющих веществ, повторяемость этих превышений в течение года. Однако,

как указывают авторы монографии (Комплексное ..., 1997), следует иметь в виду недостаточную надёжность определения этой повторяемости при малом числе отбираемых проб воды, что нередко имеет место на практике.

4. *Разнообразие итоговых синтезированных оценочных показателей* (экологическое состояние, опасность, риск, устойчивость и т.д.), рассчитываемых на основе разнообразных подходов к выбору учитываемых критериев, их оценке и суммированию. Например, при составлении карт экологического состояния чаще всего выбирается серия частных показателей (антропогенные нагрузки отдельно на атмосферный воздух, поверхностные воды, почвы, растительность или суммарные; здоровье человека; плотность населения; положение относительно объектов положительного и отрицательного соседства; биоклиматический потенциал и т.д.), каждому из которых даётся балльная оценка, на основе которой получают итоговую. В большинстве случаев итоговая оценка получается суммированием частных или подсчётом их среднего арифметического значения. Используют и более сложные коэффициенты, в том числе с нормированием частных балльных оценок. Балльная оценка и выбор способа нормирования привносят в экологическую оценку территории значительную долю субъективизма.

Например, при составлении карты комплексной экологической оценки Пермской области по административным районам (Двинских и др., 2007) учитывались антропогенные нагрузки на атмосферный воздух, поверхностные воды, почвы, лес, размещение отходов и демографическая нагрузка. Поскольку антропогенные нагрузки выражаются в разных единицах измерения и непосредственно не сопоставимы между собой, был использован метод экспертной оценки, основанный на ранжировании и балльной оценке. За основу было взято отношение фактического значения нагрузки к её условной норме (средняя по области величина).

Интегральная оценка состояния окружающей среды Ростовской области на карте экологического районирования (Экологический атлас..., 2000) дана на основе экологической напряжённости, для расчёта которой были оценены в баллах антропогенная нагрузка (промышленная, сельскохозяйственная, транспортная), загрязнение окружающей среды (атмосферного воздуха, питьевой воды, почв и сельхозпродукции), здоровье человека. Итоговая балльная оценка степени экологической напряжённости рассчитывалась с учётом плотности населения.

При составлении карты комфортности городской среды Великого Новгорода (Антонова, Анциферова, 2005) авторы использовали три не-

зависимые оценки (экологическую, социальную и видеоэкологическую) районов с однородной ландшафтной и функциональной структурой в баллах и затем суммировали полученные результаты. В экологическую оценку вошли показатели разного рода загрязнения, близость промышленных предприятий, крупных транспортных магистралей, свалок.

Расчёт комплексного индекса качества городской среды Москвы (Попов, 2007) проводился по пяти группам факторов (уровень развития транспортной и социальной инфраструктуры, экологические показатели, положение относительно объектов положительного и отрицательного соседства). В качестве индикатора экологического состояния городских территорий был использован показатель суммарной плотности атмосферного загрязнения от стационарных и передвижных источников. Для расчёта итогового интегрального показателя качества городской среды была проведена процедура нормирования описанных выше частных компонентов с последующим суммированием их с равными весами, так как они отражают различные, но принятые одинаково важными аспекты человеческой жизнедеятельности.

При составлении карты эколого-ландшафтного районирования Омской области (Большаник, Игенбаева, 2006) использовалась величина антропогенной нагрузки в баллах, которая рассчитывалась как отношение степени антропогенного воздействия (произведение экологической плотности населения и величины отрицательного воздействия отраслей хозяйства на эту территорию к биоклиматическому потенциалу территории. Экологическая ситуация определяется по уровню антропогенной нагрузки в баллах.

В четырёх приведённых примерах использованы более 15 показателей, и ни один из них не является общим для всех карт. В трёх случаях близки показатели загрязнённости; в двух случаях – показатели разного рода антропогенной нагрузки и близости негативно влияющих антропогенных объектов.

Помимо многовариантности, к специфике эколого-географического картографирования можно отнести его разномасштабность, многомерность, оперативность, использование специальных условных обозначений, практическую направленность, открытость, регламентирование нормативными документами. Рассмотрим последовательно эти особенности картографии рования.

Разномасштабность (иерархичность) уровней картографирования обусловлена иерархической организацией природных, природ-

но-антропогенных и антропогенных геосистем, разномасштабностью экологических проблем от локальных до глобальных, а также необходимостью принимать решения по управлению и развитию территорий на разных административных уровнях.

По мнению Б.В. Виноградова (1981), в соответствии с принципом иерархической организации систем необходимо их последовательное описание на всех уровнях интеграции. Как минимум, для понимания системы на данном картографическом уровне необходимо изучение систем на один уровень ниже и на один уровень выше. При этом следует учитывать, что на каждом уровне должно быть предусмотрено равностороннее отображение всех необходимых аспектов экологической проблематики.

Масштаб эколого-географических карт зависит от уровня и территориального охвата, содержания карт, плотности информации, требований, предъявляемых к точности отображения отдельных элементов информации и их детальности, что характерно для тематических карт вообще. Он зависит также от назначения карт (например, для какой стадии проектирования создаётся карта), особенностей территории и т.п. Например, в методических указаниях по составлению оценочных и прогнозных карт природоохранного назначения в проектных материалах ОАО «Газпром» указано, что для одного и того же объекта на прединвестиционной стадии рекомендуется масштаб от 1:1 000 000 до 1:100 000, на предпроектной стадии от 1:50 000 до 1:25 000 (в редких случаях 1:10 000), на проектной стадии от 1:25 000 до 1:10 000. Согласно методическим рекомендациям по выявлению деградированных и загрязнённых земель, в зависимости от хозяйственного использования территории и требований к уровню загрязнения почв масштаб может меняться от 1:2 000 (высокие требования) до 1:100 000 (умеренные требования).

Многомерность картографируемого пространства особенно актуальна для эколого-географических карт урбанизированных территорий, на которых отражены антропогенная нагрузка и нарушенность, в особенности загрязнение и загрязнённость геосистем.

По мнению А.С. Курбатовой с соавторами (Курбатова и др., 2006) разбиение наземного и подземного городского пространства природными (реки, озеленённые территории и пр.) и антропогенными (здания, подземные коммуникации и др.) барьерами обуславливает необходимость учёта при составлении эколого-географических карт городских территорий особенностей распределения ряда картографируемых яв-

лений в трёхмерном пространстве города. Так, например, при картографировании эквивалентных уровней транспортных шумов для территорий городских кварталов рекомендуется отображать шумовые нагрузки на фасадах зданий с учётом их высоты и ориентировки в пространстве, что позволяет получать полную картину акустического режима жилой территории. При картографировании инженерно-транспортной структуры следует учитывать масштаб инженерного освоения территории, который определяет степень трансформации подземного пространства за счёт прокладки инженерных коммуникаций.

Подобных карт к настоящему времени создано мало, этот раздел картографирования находится в стадии разработки. В качестве примера можно привести трёхмерные модели распространения ^{137}Cs в водах и донных осадках Карского моря (Изменение..., 2007). Перспективно использование трёхмерных моделей природных и антропогенных ландшафтов для экологического прогнозирования, в том числе оценки последствий опасных процессов (наводнения, оползни и др.), как это сделано в трёхмерной модели города Казани (Геоинформационная..., 2010).

Оперативность эколого-географических карт, обусловленная динамичностью параметров картографирования. Для этого нужны соответствующие данные, например, регулярные измерения (отборы проб) в большом количестве пунктов, их обработка (проведение химических анализов, пересчёт первичных данных и т.п.) и оперативное нанесение полученных результатов на карту.

Существуют определённые трудности в получении материалов, ограничение доступа и/или искажение информации как ведомствами и административными органами, так и отдельными предприятиями; высокая стоимость проведения собственных исследований; отсутствие общепринятых методик и терминологии. Последнее затрудняет использование составленных в разное время карт для получения итоговой карты динамики экологических параметров (например, многообразие подходов к определению качества воды и воздуха и др.).

Проблема нехватки исходных материалов для создания оперативных эколого-географических карт в настоящее время решается в двух направлениях. Во-первых, более широко используются относительно недорогие данные дистанционного зондирования. Во-вторых, разрабатываются специальные оценочные модели, позволяющие создавать новые, а также дополнять и изменять (уточнять) созданные карты. Есть удачные примеры такого подхода (программные комплексы «Призма»,

«Эколог»), но они охватывают лишь незначительную часть тематики эколого-географических карт (загрязнение и загрязнённость компонентов природной среды, различные риски и некоторые другие).

Использование специальных условных обозначений и компоновки легенд ориентирует на психологическое восприятие карт, особенно в тех случаях, когда их потребителями служат непрофессионалы в области картографии. *Практическая направленность* эколого-географического картографирования выражается в удовлетворении запросов потребителей конкретной информации при потенциально многоцелевом назначении эколого-географических карт.

В зависимости от потребителя экологической информации может меняться масштаб карт, набор картографируемых показателей, способы изображения. По мнению А.С. Курбатовой с соавторами (Курбатова и др., 2006), создание отдельных адресных карт позволит расставить интересующие каждую группу акценты и сформулировать разные по форме выводы и рекомендации.

Свод карт, геоинформационных систем и баз данных, используемый при проектировании классификаций разного уровня и структур баз данных, *открыт к дополнениям и расширениям*. Эколого-географическое картографирование *регламентируется* нормативными документами и методическими разработками экологической направленности разного характера и уровня, вплоть до федерального. Определённые результаты даёт использование уже имеющихся документов, но всё ещё велика актуальность создания новых правил, согласовывающихся со стандартизированным понятийным аппаратом.

Подводя итог, можно сказать, что несмотря на очевидные проблемы эколого-географического картографирования в последнее время виден ощутимый прогресс как в теоретическом плане, так и в практическом применении создаваемых карт.

Литература

- Антонова З.Е., Анциферова М.В. Оценка качества окружающей среды Великого Новгорода // География и экология регионов России. Материалы Всерос. науч. конф. 9–10 декабря 2004 г. Новгородский гос. ун-т им. Ярослава Мудрого. Великий Новгород: 2005. С. 194–199.
- Большаник П.В., Игенбаева Н.О. Эколого-ландшафтное районирование Омского Прииртышья // География и прир. ресурсы. 2006. № 3. С. 37–41.

- Верещака Т.В., Петрова И.Ф.* Становление и развитие эколого-географического картографирования: тенденции и основные этапы // Геодезия и картография. 2011. № 1. С. 13–17.
- Виноградов Б.В.* Системное картографирование растительности на многомасштабных интеграционных уровнях // Картографирование географических систем. Сб. по материалам 7-й Всес. конф. по тематическому картографированию. Москва, 1978 г. М.: МГУ, 1981. С. 112–121.
- Геоинформационная система органов государственной власти республики Татарстан, 2010 <http://gisogvrt.ru/pages/show/3dmodel>. Посещение 14-11-2015.
- Двинских С.А., Зуева Т.В., Тереханова Т.А.* Оценка экологической ситуации в Пермской области // География и прир. ресурсы. 2007. № 1. С. 43–51.
- Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. М.: ИГЕМ РАН, 2007. 200 с.
- Исаченко А.Г.* Ландшафтный подход как основа системного картографирования природной среды в целях ее оптимизации // Картографирование географических систем: Сб. по материалам 7-й Всес. конф. по тематическому картографированию. Москва, 1978 г. М.: МГУ, 1981. С. 32–40.
- Исаченко А.Г.* Экологическая география России. СПб.: Изд-во СПб. гос. ун-та, 2001. 328 с.
- Исаченко А.Г.* Введение в экологическую географию. Учебное пособие. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та, 2003. 192 с.
- Комплексное экологическое картографирование (географический аспект). Учебное пособие / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во МГУ, 1997. 147 с.
- Кочуров Б.И.* Экодиагностика и сбалансированное развитие. М. – Смоленск: Маджента, 2003. 384 с.
- Курбатова А.С., Баранникова Ю.А., Комедчиков Н.Н.* Экологическое картографирование в градостроительном проектировании. Смоленск: Маджента, НИиПИИЭГ, 2006. 192 с.
- Методические рекомендации по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000 (третьего поколения). М.–СПб.: Министерство природных ресурсов РФ, ВСЕГЕИ, 2005. 160 с.
- Мухина Л.И.* Экологические опасности (Термины и понятия. Подходы к определению) // Проблемы экологической безопасности региона. М.: Ин-т географии РАН, 1997. С. 40–61.
- Петрова И.Ф.* Экологическое картографирование при выполнении требований нормативных документов природоохранной направленности // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2007. № 5. С. 109–115.
- Петрова И.Ф.* Проблемы отображения понятия «опасность» на экологических картах // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 5. С. 126–131.
- Петрова И.Ф.* Отображение на картах категорий загрязнения и загрязненности (на примере атмосферного воздуха) // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 3. С. 21–25.

- Петрова И.Ф.* Проблемы отражения понятия «риск» на экологических картах // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 2. С. 21–25.
- Петрова И.Ф.* Картографическая форма отображения информации о загрязнении и загрязненности поверхностных и подземных вод // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2010. № 4 (28). С. 24–31.
- Попов А.А.* Территориальная дифференциация качества городской среды в Москве // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2007. № 4. С. 29–36.
- Природные ресурсы и экология России: Федеральный атлас / Под ред. Н.Г. Рыбальского и В.В. Снакина. М.: НИИ-Природа, 2003. 277 с.
- Пурдик Л.Н.* Ландшафтно-экологические исследования и картографирование (методология практики) // Экологический анализ региона (теория, методы, практика). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. С. 80–92.
- Рубанов И.Н., Тикунов В.С.* Методика оценки экологического состояния окружающей среды регионов России // Проблемы региональной экологии. 2007. № 3. С. 20–28.
- Стурман В.И.* Экологическое картографирование: учебное пособие. М.: Аспект Пресс, 2003. 251 с.
- Экологический атлас России. М.: Министерство природных ресурсов РФ, Федеральный экологический фонд РФ, МГУ, КАРТА, 2002. 128 с.
- Экологический атлас Ростовской области. Ростов-на-Дону: СКНЦ ВШ, 2000. 120 с.

I.F. Petrova

METHODOLOGICAL BASIS OF THE CREATION OF THE ECOLOGICAL-GEOGRAPHICAL MAPS

The author formulated the methodological bases of ecological-geographical cartography, which emanate from his essence and specific character. They are examined as the bases: the ambiguity of subject-objective relations; the unification of conceptual apparatus; the invariance of the territorial units of cartography; temporal aspects and other. The special features of ecological-geographical cartography result from the special features of the objects of cartography, basic specific character of which is multivariance. Besides this were examined the hierarchical quality of levels cartography; the multidimensionality of the charted space; effectiveness; the use of special arbitrary symbols and layout of legends; practical directivity; openness to the additions and the expansions; regulation by normative documents.

Г.А. Ефремов, И.Н. Ротанова

**АТЛАСНОЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ
КАРТОГРАФИРОВАНИЕ И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ
НА ПРИМЕРЕ АТЛАСА «БОЛЬШОЙ АЛТАЙ:
ПРИРОДА, ИСТОРИЯ, КУЛЬТУРА»**

Введение

Во втором десятилетии XXI в. географическая карта в традиционном понимании всё более замещается геоинформационной моделью действительности и создаётся с применением геоинформационной системы (ГИС), несущей большой объём разноплановой информации с возможностями интерактивного управления визуализацией.

Развитие с применением ГИС получает и серийное (атласное) картографирование, которое остаётся и сегодня одним из значимых методов системного географического изучения природных условий и ресурсов, а также социально-экономического и историко-культурного развития территорий. Подтверждением этому служит значительное количество новых атласов на различные территории: от России в целом до отдельных регионов. Качество и объёмы географических знаний и информации, сконцентрированных в тематических геоинформационных картах и комплексных атласах, являются первостепенными факторами, определяющими эффективность использования природных ресурсов, развитие экономики, формирование систем спутниковой связи и навигации, обоснование геополитических интересов государств.

Большинство современных атласов охватывает территории отдельных стран и их административно-территориальных единиц. Примеров атласов международных регионов, имеющих природную и историческую общность, но разделённых границами государств, лишь единицы. Территорию, для которой насущна необходимость создания интеррегионального атласа, представляет собой трансграничный Большой Алтай – территория сочленения в пределах Алтайской горной системы приграничных районов России, Казахстана, Монголии и Китая.

Атласная картография в России в начале XXI в.

В начале XXI столетия в России значительно возросло издание разнообразных географических атласов, к настоящему времени насчитывается более 100 наименований. Такой прогресс российской атласной картографии вызван рядом причин. Одна из них связана с переходом России к рыночной экономике, что привело к ликвидации государственной монополии на картографическую деятельность. Появившиеся картографические фирмы самостоятельно определяют свою издательско-картографическую политику, в том числе и создание тематических географических атласов. К другим причинам можно отнести снятие или уменьшение режимных ограничений на топографические карты, космические снимки, другую информацию, что способствует увеличению возможности представления точных и разнообразных тематических данных в картах и атласах. Изменившиеся социально-экономические условия жизни населения, стремительное увеличение автомобильного транспорта, рост туристических поездок вызывает повышенный спрос на атласы автомобильных дорог, которых в настоящее время насчитываются десятки.

Политико-экономические преобразования в России, в том числе административные реформирования, обусловили осознание в руководящих органах субъектов Российской Федерации, что региональный географический атлас, наряду с флагом, гимном, другой символикой, может быть визитной карточкой региона, его инвестиционным справочником, географической энциклопедией, раскрывающей и поясняющей с помощью географических карт инвестиционную привлекательность региона, его экономическое и социальное развитие, обеспеченность природными и трудовыми ресурсами, наличие туристских достопримечательностей и т.п. Заинтересованность в создании географических атласов проявляют и федеральные министерства и ведомства, здесь атласы используются для стратегического планирования, оперативной работы, а также для пропаганды и популяризации своей деятельности. Значима деятельность по созданию фундаментальных научно-справочных атласов институтами Российской академии наук, географическими факультетами университетов (Тикунов, 2002; Краюхин, Поздняк, 2006; Комедчиков и др., 2011а, б).

В условиях картографического рынка нового тысячелетия были изданы глубоко проработанные, научно-справочные по содержанию

тематические и комплексные атласы океанов, России и её регионов: «Экологический атлас России» (2002), «Международный геолого-геофизический атлас Тихого океана» (2003), «Военно-исторический атлас России IX–XX века» (2003), «Политический атлас мира» (2003), «Большой Атлас России» (2004), «Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа» (2004), «Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры» в двух томах (2004, 2006), «Антарктика» (2005), «Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации» (2005), «Атлас России географический» (2005), «Атлас Республики Башкортостан» (2005), «Атлас Республики Татарстан» (2005), «Tartarica. История татар и народов Евразии. Республика Татарстан вчера и сегодня» (2005) «Атлас Москвы. Картографическая энциклопедия» (2007), «Сибирь: Атлас Азиатской России» (2007), «Атлас Курильских островов» (2009), «Атлас России» (2013) и др. В изданных атласах были продолжены лучшие традиции российской картографии, а при создании многих из них применены новые подходы к представлению научно-справочной информации, проявившиеся в новом дизайне, богатом иллюстративном обеспечении, включении содержательной текстовой части, что безусловно отвечает мировым стандартам (Тикунов и др., 2016).

Главнейшим атласным произведением российской картографии последних лет стал четырёхтомный «*Национальный атлас России*» (2004, 2007, 2008, 2008) – фундаментальное картографическое произведение, содержащее новейшие знания о России, её природе, населении, экономике, истории и культуре: т. 1 «Общая характеристика территории», т. 2 «Природа. Экология», т. 3 «Население. Экономика», т. 4 «История. Культура» (Национальный атлас Российской Федерации, 2006; 2008; 2009, 2011). В атласе воплотились и получили дальнейшее развитие лучшие традиции и достижения российской и мировой картографии, обеспечена преемственность с ранее созданными произведениями русской и советской картографии. В работе над атласом приняли участие учёные и специалисты более чем из 50 научных организаций разной ведомственной подчиненности – институтов РАН при ведущей роли Института географии РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российского научно-исследовательского института культурного и природного наследия имени Д.С. Лихачева, Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А.П. Карпинского, Национального информационного агентства «Природные ресурсы», Российской государственной библиотеки и др.

Особенность четырёхтомного атласа заключается в подходах и приёмах создания, сюжетах карт, впервые нашедших всестороннее и полное отображение в отечественной атласной картографии. В первом томе атласа впервые даётся научно-справочное изложение истории формирования, исследования и картографирования территории России с древнейших времён до конца XX в. Такое энциклопедическое и целостное историко-географическое описание, иллюстрированное историческими картами, фотографиями, фрагментами старых карт, несомненно, представляет одну из наиболее важных и интересных частей атласа. Второй и третий тома «Национального атласа России» всесторонне характеризуют природные условия и ресурсы России, а также экологическое, социально-демографическое и хозяйственное состояние её территории. В них большое количество новых, оригинальных сюжетов. В четвёртом томе впервые представлен и охарактеризован комплекс объектов культурного и природного наследия как в целом по России, так и по отдельным её регионам. Созданные карты памятников археологии, военной истории, культовой гражданской и промышленной архитектуры, монументального искусства, художественных промыслов и ремёсел, планы музеев-заповедников, музеев-усадьб, монастырей, русских кремлей и крепостей, многочисленные фотографии объектов наследия, содержательные пояснительные тексты – всё это в целом не имело ранее аналогов не только в России, но и в мире.

Отличительная черта «Национального атласа России» – включение в него большого числа космических снимков с отечественных спутников, которые, с одной стороны, отражают закономерности строения и развития компонентов географической оболочки, некоторые её общие черты и индивидуальные особенности отдельных объектов и явлений природы, а с другой – дополняют содержание карт в части отображения локальных особенностей ландшафтного строения. Космические изображения, сопровождаемые аннотациями, выступают в качестве самостоятельных компонентов содержания атласа, служат средством для научных исследований, демонстрируя разные возможности интерпретации материалов космических съёмки (Веденин, Ельчанинов, 2010).

В 2005 г. вышел в свет первый в российской истории «Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации». Это уникальное издание выпустило Министерство чрезвычайных ситуаций России совместно с Российской

академией наук. Над атласом работали более 120 авторов. Спасатели, специалисты и учёные провели анализ возможных кризисных явлений и угроз, актуальных для России в начале XXI в.: природных и техногенных катаклизмов, экологических бедствий, а также опасностей, возникающих при ведении военных действий и от террористических угроз. Атлас стал первой в России аналитической информационной работой в данной области. В нём подробно классифицированы все виды чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, встречающиеся на территории России (всего более 30), указаны регионы наиболее частого их распространения, расписаны все возможные причины их возникновения, а также методы распознавания и противодействия. Атлас содержит семь разделов, включающих более 100 карт. Он позволяет рационально строить социально-экономическую политику, вносить коррективы в экономическое развитие регионов, учитывая риски и опасности (Атлас..., 2005).

Комплексный атлас «Сибирь: Атлас Азиатской России» (2007) подготовлен к изданию Издательско-продюсерским центром «Дизайн. Информация. Картография» (ИПЦ «ДИК») при участии учёных и специалистов Российской академии наук, географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Российского научно-исследовательского института культурного и природного наследия имени Д.С. Лихачева. Это справочно-энциклопедическое, комплексное картографическое издание по природным условиям и ресурсам, истории, культуре, этнографии, экономике Азиатской России, где целостно, системно и с максимальной полнотой представлена информация как о всей Сибири в целом, так и по её отдельным историко-культурным, экономическим, природным и административным регионам. В атласе наглядно отображена история Сибири, этапы её освоения, исследования и картографирования, духовная и материальная культура коренных народов (их хозяйство, промыслы, средства передвижения, искусство) и русских в Сибири (старожилов, переселенцев, казачества, старообрядцев и др.). В атлас органично вписаны старинные карты, документы, рисунки, художественные фотографии. Атласу присущ оригинальный дизайн (Сибирь..., 2007).

Особого внимания, как по своему значению, так и по научному содержанию и оформлению, заслуживает «Атлас социально-экономического развития России» (2010), подготовленный географическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова совместно с институтами СО

РАН – Институтом географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Байкальским институтом природопользования СО РАН, Институтом природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, а также ПКО «Картография». Он представляет собой комплексную многоцелевую картографическую модель, позволяющую проанализировать количественные и качественные изменения, происшедшие в нашей стране на рубеже XX и XXI вв. в области демографии, экономики и социальных отношений. Аналитические, комплексные и синтетические карты атласа характеризуют изменения основных демографических показателей и качества жизни населения, современное состояние и динамику развития важнейших отраслей экономики, перспективные планы и проекты. Впервые в отечественной картографии в атласе детально охарактеризованы приграничные регионы. На примере Байкальского региона характеризуется пространственные закономерности размещения и развития хозяйства и населения отдельного региона на основе имеющихся ресурсов (Атлас., 2009).

«Атлас России» – научно-популярное издание серии «Иллюстрированная картографическая энциклопедия». Это фундаментальное картографическое произведение, в котором концептуально объединены географический атлас, энциклопедический справочник, художественный фотоальбом, статистическая информация и туристический краеведческий путеводитель (Атлас., 2013). Электронная версия атласа, созданная на платформе Adobe Flash и представленная на DVD, разработана в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) в 2013 г. Форма представления карт атласа различается по разделам. Общероссийские тематические карты раздела «Природа» доступны по ссылке на стартовой странице атласа. Карты представлены в растровом формате и сопровождаются дополнительной информацией в виде текстового описания или фотогалереи. Просмотр карты отдельного региона или федерального округа возможен через интерактивную карту страны в разделе «Регионы России». Региональные карты сопровождаются энциклопедической информацией. Так же имеется доступ к подробному текстовому описанию, инфографике и фотографиям.

Раздел демографических и социальных показателей позволяет отображать на базовой контурной карте 11 тематических слоёв, приводящих значения по регионам России. Все характеристики приводятся в сравнении со средним значением по стране в пятиступенчатой шкале:

значительно ниже среднего, ниже среднего, среднее, выше среднего, значительно выше среднего. Атлас имеет удобный интерфейс и современное оформление, что весьма важно для энциклопедического издания.

Научно-справочный атлас *«Особо охраняемые природные территории Сибирского федерального округа»* (2012) содержит сведения об объектах природного наследия. При подготовке Атласа использовался разработанный в Институте географии имени В.Б. Сочавы СО РАН метод «одноаспектного атласного картографирования», демонстрирующий ландшафтную репрезентативность современной системы заповедных территорий, что в свою очередь необходимо для дальнейшего планирования территориальной охраны природы Сибири. В атлас включены карты на 241 охраняемую природную территорию. Представленная в картах информация важна для научных исследований по оптимизации и развитию системы ООПТ (Калихман и др., 2012).

Для большинства рассмотренных атласов XXI в. параллельно созданы и их электронные версии. Атласы в электронной форме размещены в Интернете и в других национальных и международных информационных сетях. Они становятся важным средством пространственного планирования и управления, источником научно-справочной информации, средством обучения и образования. Атлас всё чаще рассматривается не как одно произведение, а как система картографических произведений в бумажной и электронной формах, баз пространственных данных и пользовательских программ (интерфейсов). Примером служат Электронный атлас *«Снег и лед на Земле»* (2015).

Мультимедийный атлас Курильских островов создавался параллельно с традиционной бумажной версией комплексного географического атласа Курильских островов с помощью современных компьютерных технологий и предназначен для распространения информации на любых электронных носителях и в Интернете. Включает систему взаимосвязанных карт в виде географической энциклопедии. По своему типу мультимедийный атлас – собрание карт, текста, анимаций, видеоизображений, фотографий, ортофотоизображений, цифровых моделей рельефа, звукового оформления. Информация передаётся в атласе в наглядной форме, понятной для прочтения, изучения и дальнейшего использования. Большая часть карт атласа представлена в растровом виде. Доступ к картам возможен по тематическим разделам. Особое внимание уделено природоохранному разделу, карты в котором представлены в интерактивном варианте. На картах заповед-

ников «Курильский», «Малые Курилы» и карте «Охрана морских биоресурсов» имеются функции включения тематических слоёв, выбора различных «подложек». У пользователя имеется возможность при помощи инструментов отмечать различные площадные и точечные экологически значимые нарушения, наблюдаемые и фиксируемые в реальности. Отличительная черта атласа – наличие обширного мультимедийного материала. Трёхмерные модели островов представлены в разделе «Виртуальные полёты», где пользователю даётся возможность пролёта над островами, и в виде анаглифов. Атласа также включает раздел фотографий с географической привязкой по островам, разделы видео- и звукозаписей (Медведев, 2007; Атлас..., 2009).

Электронный атлас «Слюдянский район Иркутской области: природа, хозяйство и население» создан в Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН и реализован на CD-носителе в 2012 г. Это тематический атлас, интегрирующий современную информацию и знания о природе, ресурсах, экономике, экологии, населении и культуре муниципального района на 50 картах (Слюдянский..., 2012). Архитектура атласа основана на выделении трёх взаимосвязанных блоков, доступ к которым возможен по ссылке, расположенной в титуле. Блок «Об атласе» включает информацию об авторах, редакторах, содержании, а также инструкцию для пользователей. Основной блок «Карты» содержит окно просмотра растровых карт и инструменты управления, позволяющие масштабировать изображение и перемещаться по нему. Выбор определённой карты для просмотра выполняется через набор ниспадающих списков на панели навигации, расположенной над окном просмотра. Она включает пять тематических разделов и восемь подразделов: Вводный раздел; Природные условия: Компонентная и интегральная характеристика природной среды, Природная устойчивость компонентов среды, Риск неблагоприятных природных ситуаций; Экономические факторы: Природно-ресурсный потенциал и его использование, Экономика и экономический потенциал; Социально-демографические факторы: Современный демографический потенциал и его динамика, Социальное благополучие населения; Экологические условия: Состояние и охрана окружающей среды. Удобная навигация по содержанию и инструментарий позволяют рассматривать данный электронный атлас как альтернативу традиционному бумажному формату.

Электронный Атлас «Снег и лед на Земле» создан в Институте географии РАН на основе «Атласа снежно-ледовых ресурсов мира» и

издан в 2015 г. Атлас представляет карты, дающие информацию обо всех видах природных льдов, климатических условиях существования снега и льда, талом снеговом и ледниковом стоке, древнем оледенении, запасах снега и льда (Снег., 2015). Электронный атлас представлен в виде программного приложения, созданного на платформе Adobe Flash. Доступен как на CD-носителе, так и на геопортале Институт географии РАН (<http://webgeo.ru>). Структурно содержание атласа представлено картами трёх масштабных уровней: мир – континент – природный регион. Переход к просмотру карт возможен либо через выбор на интерактивной карте мира и региона, либо по списку географических районов. Визуализация тематических карт реализована в послойном формате, причём все тематические слои привязаны к карте определённого региона. Атлас не предполагает просмотра по тематическим разделам. Страница карты региона представляет собой окно просмотра с элементами интерактивного управления. Таблица содержания включает набор всех доступных тематических слоёв и даёт возможность включения отображения, оверлея слоёв и вызова легенды. Здесь же для каждого слоя имеется ссылка на скачивание исходных векторных слоёв в формате shp-файлов. Данная функция открывает возможности более углублённого изучения информации, совместного анализа с другими данными в настольных ГИС, позволяет создавать собственные проекты. Среди элементов управления атласом на странице доступен переход к просмотру фотографий ледников и снимкам, сделанным с международной космической станции, а также переход на сайт геопортала Институт географии РАН. Атлас «Снег и лед на Земле» – это современный реализованный инструмент для получения информации о снежно-ледовых ресурсах Земли.

«*Экологический атлас бассейна озера Байкал*» (ЭАББ) создан совместно Институтом географии им В.Б. Сочавы СО РАН, Байкальским институтом природопользования СО РАН и Институтом географии АН Монголии. Заказчиком выступил Глобальный Экологический Фонд (ГЭФ) (Экологический..., 2015). Цель создания атласа – территориальная организация, накопление, обработка и представление в картографической форме разнообразной информации, обеспечивающей наглядное отображение природных условий формирования экологической обстановки, состояния процессов возникновения природно-антропогенных экологических ситуаций и оценку их напряжённости в бассейне Байкала.

Атлас имеет модульно-блочную структуру, организованную по принципу содержательно-функциональной классификации карт. Первый модуль включает три блока, посвящённых природным условиям, ресурсным и социально-экономическим факторам формирования экологической обстановки в бассейне оз. Байкал. Второй модуль – карты экологических акцепторов – включает блоки: трансформация окружающей среды и медико-экологическая обстановка. Третий модуль – блок карт «Охрана окружающей среды». Последний, комплексный модуль посвящён отображению акватории и побережья Байкала (Батуев и др..., 2015).

Атлас реализован в двух форматах: первый вариант – это традиционный печатный атлас на русском, монгольском и английском языках, второй – публикация электронных карт на геопортале Байкальского информационного центра. На геопортале также имеется два варианта карт: в виде изображения формата png с текстовым сопровождением и ГИС-вариант во вьюере векторных слоёв на портале GeoNode.

Первый в России региональный «Атлас опасных гидрометеорологических явлений» (ОГМЯ) создан в Пермском национальном исследовательском университете (2016). Цель его создания – представление наиболее полной пространственной характеристики различных видов этих явлений, а также их последствий, наблюдающихся на территории изучаемого региона – Уральского Прикамья. В атласе впервые дана детальная характеристика климатического и гидрологического режима Уральского Прикамья. Впервые созданы карты повторяемости и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений. Большое внимание уделено типичным и выдающимся случаям ОГМЯ, условиям их возникновения и негативным последствиям. Широко представлены различные виды геоизображений: традиционные карты, динамические карты, космофотокарты, космические снимки разной детальности в разных спектральных синтезах (Пьянков и др..., 2015). Другая важная особенность атласа – использование при его создании широкого набора данных, включающего наблюдения на гидрометеорологической сети, многолетние ряды результатов космического мониторинга, данные реанализа и мезомасштабного атмосферного моделирования. Таким образом, решается основная проблема картографирования опасных гидрометеорологических явлений на региональном уровне, заключающаяся в дефиците исходной информации.

Атлас состоит из пяти разделов. Во введении рассматривается актуальность изучаемой проблематики, цель создания атласа, опи-

сана информационная основа, приведено обоснование структуры и краткое содержание разделов атласа. В первом разделе представлена общегеографическая характеристика региона, приведены общегеографические карты (физическая карта и карта административно-территориального деления). Во втором разделе рассматривается климатический и гидрологический режим изучаемой территории. Представлены карты средней годовой и среднемесячной температуры воздуха, среднегодовой скорости ветра и направлений ветра в январе и июле, режимных характеристик атмосферных осадков и снежного покрова, а также основные характеристики водного и ледового режима рек и водохранилищ. Третий раздел атласа посвящён опасным метеорологическим явлениям. Для каждого из рассматриваемых видов явлений представлены карты режимных характеристик (повторяемости и среднегодовой интенсивности явления). Кроме режимных характеристик опасных природных явлений, в данном разделе подробно рассматриваются наиболее характерные или выдающиеся случаи, включая условия их возникновения, особенности развития и нанесённый ущерб. Четвёртый раздел атласа посвящён опасным гидрологическим явлениям, связанным с прохождением весеннего половодья и дождевых паводков. Пятый раздел посвящён наиболее значимым негативным последствиям опасных гидрометеорологических явлений. К ним отнесены засухи, лесные пожары, ветровалы и наводнения. Созданный «Атлас опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья» представляет собой не только целостную совокупность картографических, иллюстративных материалов и космофотокарт, но и совокупность связанных между собой баз данных, в которых отражено современное состояние климата региона и закономерности пространственно-временного распределения опасных гидрометеорологических явлений (Пьянков и др., 2016).

В настоящее время большое внимание придаётся анализу риска здоровью, в частности, созданию медико-географических и нозогеографических карт. Медико-географическое картографирование нацелено на отображение факторов среды, как позитивно, так и негативно влияющих на здоровье человека. В зависимости от показа факторов среды или результатов их воздействия карты могут быть отнесены к разным группам медико-географической классификации: медико-географические карты и близкие к ним по содержанию оценочные карты окружающей среды отображают природные (как и социальные)

предпосылки болезней; нозогеографические карты характеризуют фактическое распространение болезней. Среди факторов болезней, составляющих предмет медико-географического картографирования, различают географические предпосылки, обусловленные физико-географическими причинами, а также области источников заболеваний, связанные с видовым и количественным составом переносчиков, интенсивностью циркуляции возбудителя в природном очаге (фактические нозоареалы).

Развитие методологии оценки современной медико-географической ситуации на различных территориальных уровнях (национальном, региональном, локальном) на основе ГИС-технологий для создания серии аналитических, комплексных и синтетических карт, отражающих пространственно-временные особенности распространения природноочаговых болезней, воплотилось в создании медико-географического атласа России «Природноочаговые болезни» – первого картографического обобщения разнообразной обширной информации о заболеваниях, возбудители которых циркулируют в природе независимо от человека (Медико-географический..., 2015).

В атласе сведены воедино данные об истории и современном распространении природноочаговых болезней на территории России, их эпидемиологических особенностях, природных и социально-экономических предпосылках, способствующих возникновению и существованию очагов. На созданных для атласа картах (около 100 оригинальных картографических произведений) с помощью различных приёмов картографического отображения показано распространение 23 нозоформ на территории России, пространственно-временная динамика заболеваемости, а также дана многоплановая текстовая и картографическая информация о распространении основных носителей и переносчиков природноочаговых болезней. Помимо карт распространения отдельных заболеваний, в Атласе также представлены интегральные карты медико-эпидемиологической оценки территории и нозологических профилей регионов.

Изучение распространения природноочаговых болезней с широким ареалом на региональном уровне проведено с помощью карт динамики отдельных болезней по административным единицам. Созданные по единой схеме – общие сведения, эпидемиология и особенности природных очагов, исторический обзор, распространение в мире и России, профилактика, карты атласа в полном объёме раскрывают про-

странственно-временные закономерности распространения болезней населения. Многообразные применяемые при составлении карт методы сочетают в себе как традиционные, так и абсолютно новые картографические подходы. Синтетические интегральные карты заболеваемости населения дают сводную картину распространения природноочаговых болезней, зарегистрированных на территории России.

Динамический подход реализован в серии карт заболеваемости, позволяющих на основе совмещения временных срезов проследить не только изменения в распространении заболеваний, но и с помощью методов математико-картографического моделирования и типологических карт динамики заболеваемости. Преимущество таких карт состоит в возможности выявлять территориальные закономерности динамики и исследовать не отдельные ряды, а их группы, которые менее подвержены случайным флуктуациям. Для визуализации взаимосвязей между пространственными данными и их хронологией удачно использованы кольцевые карты.

В совокупности карты атласа позволяют судить об эпидемической опасности территории, степени стабильности проявления той или иной болезни в конкретном регионе и делать выводы о необходимости разработки и проведения специальных профилактических и оздоровительных мероприятий. Атлас характеризует степень изученности природноочаговых болезней для России, даёт возможность определить природные и социально-экономические предпосылки болезней, ареалы основных носителей и переносчиков болезней, спектр наиболее диагностируемых природноочаговых болезней.

За электронными атласами видится будущее атласной картографии. Широкое применение и распространение веб- и геоинформационных технологий даёт возможность создавать новационные картографические модели, такие как атласные веб-ГИС-проекты, к которым относится создаваемый атлас «Большой Алтай: природа, история, культура».

Подходы к созданию и программа Атласа «Большой Алтай: природа, история, культура»

Атлас «Большой Алтай: природа, история, культура» создаётся как междисциплинарная картографическая веб-геоинформационная модель международным коллективом специалистов. Создание атласа

Большого Алтая по своему замыслу отвечает трём взаимосвязанным задачам: 1) научно-исследовательский поиск новых методов и подходов, развитие современных технологий обработки пространственных данных, картографического моделирования и картографического метода исследований на основе имеющегося опыта современного атласного картографирования; 2) укрепление международного сотрудничества и обмен опытом и достижениями в области картографирования, геоинформатики и веб-ГИС-проектирования; 3) создание многопланового картографического обеспечения крупного трансграничного горного региона, называемого «Большой Алтай», который включает приграничные территории четырёх стран: России, Казахстана, Монголии и Китая (Ротанова и др., 2014а; Ротанова, Тикунов, 2015; Rotanova et al., 2014).

Актуальность этого международного проекта обоснована, исходя, как минимум, из двух предпосылок: крупный международный трансграничный район Большой Алтай нуждается в создании комплексного атласного картографического произведения, атласное картографирование требует поиска наиболее оптимальных подходов и методик на основе применения современных технологий.

Разработка атласа требует решения ряда вопросов разного исследовательского уровня: методологического (разработка концепции и программы, приоритеты, архитектура и функциональность); научно-методического (разработка структуры, проектирование и создание веб-ГИС, построение картографических моделей в среде веб-ГИС и др.), информационного (разработка баз данных и метаданных, однородность, доступность и достоверность картографируемых данных) и конструктивного (разработка и построение карт, формирование атласа как интегрированной атласной веб-геоинформационной системы) и т.д. (Ефремов, Ротанова, 2015; Ротанова и др., 2016). Новизна и уникальность атласа Большого Алтая видна из концептуальных положений, лежащих в его основе как веб-ГИС картографической модели, и оригинальной структуры тематических сюжетов карт.

Концептуально атлас разрабатывается как интегрированная веб-геоинформационная система (ГИС-портал), состоящая из локальных самостоятельных («малых») атласов (ГИС-атласов) и файлов-связок (коннект-файлов). Такая идея архитектуры интегрированного атласа обосновывается тем, что он создаётся международным коллективом специалистов с использованием традиционно сложившихся в каждой стране методов, программных средств и технологий. Таким образом,

интегрированная атласная система (ГИС-портал) рассматривается как комплекс независимых друг от друга атласов, которые могут отличаться набором содержательных элементов (карты, картосхемы, таблицы, иллюстрации, графический материал и текст), могут использоваться как единая атласная система, либо независимо друг от друга. Причины, обуславливающие необходимость реализации идеи локальных атласов при создании интегрированной атласной системы, заключаются в том, что каждый локальный атлас и/или структурный блок индивидуален и по содержанию, и по используемой методике. Реализация идеи локальных атласов позволяет решить одну из основных задач создания интегрированной атласной системы: разработать на основании имеющихся результатов методические особенности проектирования веб-ГИС атласов (Ефремов и др., 2015). В последующем, используя эти методические разработки, можно будет выбирать способ подготовки и структурные особенности планируемых к созданию атласов, а также решить ряд других проблем, возникающих при создании электронных атласных систем.

Атлас характеризуется сложной многоуровневой структурой. В пространственном аспекте он создаётся на интеррегион Большой Алтай – как в целом, так и на составляющие его территории четырёх государств. В содержательно-сюжетном контексте он имеет три основных раздела-блока, соответствующих его названию: «Природа», «История», «Культура». Названным разделам предворяется вводный раздел, содержащий географические сведения, границы стран и приграничных административно-территориальных единиц – субъектов Большого Алтая, а также изображение региона из космоса.

Для атласа принят формат в альбомной ориентации и определён масштабный ряд картографирования. К межрегиональному и макрорегиональному уровню относятся общие карты Большого Алтая в масштабах: 1:4 000 000, 1:5 000 000, 1:8 000 000, 1:10 000 000. Локально-региональному уровню соответствуют масштабы: 1:1 000 000, 1:2 000 000, 1:3 000 000. Это карты отдельных административно-территориальных единиц Большого Алтая (рис. 1).

Для российской стороны на текущем этапе создания атласа основным инструментарием выбраны продукты ESRI (ArcGIS10.1, 10.3), а также для создания sld-файлов используется uDIG 1.4.0. В качестве картографического веб-сервера выбран GeoServer, к основным достоинствам которого можно отнести возможность работы на любых

платформах; поддержку большого числа растровых и векторных форматов данных; поддержку WMS, WFS, WCS и WFS-T стандартов; возможность интеграции с Oracle, MySQL, PostgreSQL и другими СУБД, а также с библиотекой OpenLayers; создание высококачественного картографического результата (поддержка масштабируемых подписей, раскрасок, экспорт в png, tiff, gif, jpeg форматы); полностью открытый бесплатный компилируемый код на Java.

В процессе разработки геоинформационного обеспечения создаются объектно-ориентированные базы данных, отвечающие принципам модульности, комплексности и универсальности. Модульность обусловлена разноплановым содержанием разделов-блоков атласа, однако предполагает использование единой базы данных и картографической основы, с возможностью их модифицирования в рамках решения различных задач. Комплексность позволят обеспечить информацией о физико-географических, историко-культурных и социально-экономических условиях территории. Универсальность опирается на основные характеристики используемого геоинформационного программного продукта и возможность создания на его базе дополнительных прикладных программ (Ротанова, Тикунов, 2014; Ротанова и др., 2015б).

Структура баз данных атласа Большого Алтая построена на том же принципе, что и структура самого атласа. Выделяются тематические базы данных в соответствии с титульными разделами атласа: «Природа», «История», «Культура». Отличительная черта заключается в том, что базы данных создаются отдельно для каждой из стран Большого Алтая: России, Монголии, Казахстана и Китая. Это обусловлено тем, что формируются они авторскими коллективами каждого из государств (Ротанова и др., 2015а; Ротанова и др., 2016б; Rotanova et al., 2014). Общие базы данных, содержащие обобщённые данные по Большому Алтаю, создаются коллективно.

Отдельно создаётся база данных «Базовая картография», которая содержит элементы картографической основы, в частности, следующие слои: геодезическая основа, гидрография, коммуникации, населённые пункты, административное деление, растительность и грунты, рельеф суши и социально-экономические объекты. Она, в свою очередь, тоже имеет внутреннюю структуру и подразделяется на два тематических блока: общественно-географический и физико-географический (Ефремов, Ротанова, 2016; Ротанова и др., 2016а).

База данных «Базовая картография» служит основой для создания базовых карт. Созданию таких карт уделяется особое внимание, так как они служат фундаментом, на котором формируются тематические карты разделов. Так, для раздела «Природа» в качестве базовых приняты три карты: Физическая карта, Ландшафтная карта и Карта расселения населения. Раздел «Природа» отражает пространственно-временную информацию о природных условиях, эколого-природном потенциале, хозяйственном воздействии на природную среду, о качестве окружающей среды в регионе Большого Алтая на начало XXI в. Качество окружающей среды рассматривается как следствие экономического, социального и культурного развития приграничных административно-территориальных субъектов четырёх стран, расположенных в пределах горной системы Алтая. Особое внимание уделяется природоохранной политике и сети особо охраняемых природных территорий Большого Алтая (Ефремов и др., 2016).

Титульный раздел «История» представляет собой локальный атлас, включающий карты и картосхемы, текстовые описания, графический материал, иллюстрации, таблицы и др. Исходя из цели раздела «История», заключающейся в последовательном раскрытии хода исторического процесса развития Большого Алтая с древности до настоящего времени, а также в представлении пространственно-временной информации об историко-культурном наследии региона, в него будет включена серия взаимоувязанных карт, раскрывающих этапы заселения и освоения территории: размещение стоянок первобытных людей, ареалы проживания народов, появление государственности, изменение границ государств, изменения в структуре поселений и численности населения, объекты исторического наследия, археологические памятники, маршруты походов первооткрывателей и экспедиций путешественников и учёных, а также другие сюжеты.

Для тематических карт раздела «История» определены базовые карты (Ротанова и др., 2016б):

- карта этапов освоения и заселения Алтая – историческая карта, показывающая этапы формирования территории: этапы заселения, периоды и виды освоения; основные исторические явления, события, процессы, происходившие в историческом прошлом региона;
- карта исторических областей – исторически сложившихся территорий, возникших в силу общности исторической традиционно-

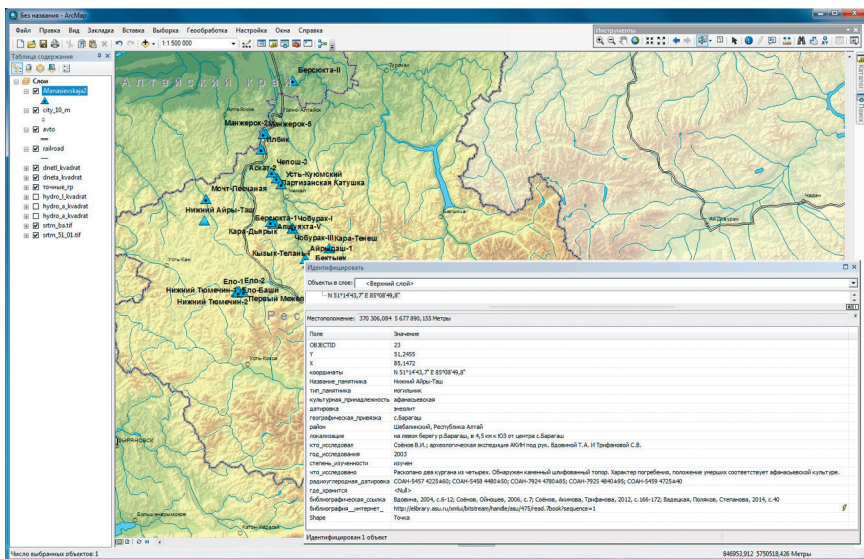


Рис. 2. Карта и запрос в базе данных размещения объектов археологического наследия модельной территории (фрагмент)

сти, не сохранившегося до настоящего времени политического объединения, социально-экономического развития и взаимного влияния со сходными историко-культурными (традиционными) особенностями, проявляющимися в материальной, бытовой и духовной культуре;

- карта (серия карт) размещения объектов исторического (археологического) наследия с отображением расположения и базой данных, содержащими сведения об артефактах, отражающих историю человеческого общества на основе материальных свидетельств (памятников) жизни и деятельности людей; показывающими историю археологических открытий, маршруты археологических экспедиций, районы раскопок, памятников древней культуры (рис. 2).

Раздел «История» тесно связан с разделом «Культура», один из двух подразделов которого планируется посвятить богатому историко-культурному наследию Большого Алтая, а другой – современной культуре. В качестве базовых карт раздела «Культура» создаются: карта этносов и этнографии, карта объектов культурного наследия, культурно-просветительная карта.

Заключение

В процессе создания атласа «Большой Алтай: природа, история, культура» используются подходы и приёмы, наработанные в практике геоинформационного атласного географического картографирования. Проведена инвентаризация международных и региональных геоинформационных ресурсов, связанных с темой создаваемого атласа, и выполнена систематизация и структуризация атрибутивной и картографической информации в рамках предметных областей. Обоснованы компоновка и масштабный ряд карт с учётом международного характера атласа. Определена структура баз данных и выполнено их частичное наполнение. Созданы авторские оригиналы базовых карт разделов «Природа», «История», «Культура»: серия карт «Физическая карта» для всего Большого Алтая (масштаб 1:4 000 000) и его частей (масштабы от 1:2 500 000 до 1:3 500 000), ландшафтные карты в базовом масштабе 1:3 000 000; серия карт археологического наследия и др.

ГИС-проект атласа позволит провести анализ природной, экономической, социально-демографической ситуации в Большом Алтае, сможет послужить основой для создания постоянно действующей геоинформационно-мониторинговой системы, доступной для её использования через Интернет. Атлас «Большой Алтай: природа, история, культура» создаст новый имидж Алтайского интеррегиона, благодаря наглядности и информативности показа основных достоинств его территории. Как результат современного геоинформационно-картографического моделирования атлас будет способствовать развитию методов ГИС-проектирования в целях информационного обеспечения международных проектов по укреплению международных связей и инвестиционной привлекательности Большого Алтая.

Работы поддержаны грантом РФФИ № 15-05-09421.

Литература

Атлас Курильских островов / Редколлегия: В.М. Котляков (предисловие), П.Я. Бакланов, Н.Н. Комедчиков (гл. ред.). М.; Владивосток: ИПЦ «ДИК», 2009.

- Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / Под ред. С.К. Шойгу. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография». 2005.
- Атлас России. Иллюстрированная картографическая энциклопедия [Электронный ресурс]. М.: Ассоциированный картографический центр-М, 2013. 1 эл. опт. диск (DVD).
- Атлас социально-экономического развития России / Отв. ред. В.С. Тикунов // М.: ПКО «Картография», 2009.
- Батуев А.Р., Бешенцев А.Н., Богданов В.Н., Доржготов Д., Корытный Л.М., Куделя С.В., Лопаткин Д.А., Плюснин В.М., Тулохонов А.К.* Экологический атлас бассейна озера Байкал: картографическая инновация для решения проблем природопользования трансграничного региона // Атласное картографирование: традиции и инновации. Материалы X науч. конф. по тематической картографии. Иркутск, 22–24 октября 2015 г. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. С. 141–144.
- Веденин Ю.А., Ельчанинов А.И.* Национальный атлас России – новейшая научная географическая энциклопедия // Геодезия и картография. 2010. № 3. С. 53–56.
- Ефремов Г.А., Ротанова И.Н.* Геоинформационное картографирование и его реализация на примере создания атласа «Большой Алтай: природа, история, культура» // Избранные труды междунар. конф. «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования». Барнаул, 20–24 октября 2015 г. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2015. С. 173–177.
- Ефремов Г.А., Ротанова И.Н.* Опыт разработки ГИС-атласа «Большой Алтай: природа, история, культура» // Географические исследования молодых ученых в регионах Азии: сб. статей по итогам Всерос. молодежной конф. с междунар. участием. Барнаул, 2016. С. 75–79.
- Ефремов Г.А., Ротанова И.Н., Лхагвасурен Ч.* Подходы к составлению базовых карт атласа «Большой Алтай: природа, история, культура» // Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов: Материалы XII междунар. науч. конф. Ховд, Монголия, 18–21 сентября 2015 г. Т. I. Естественные науки. Ховд; Томск: Издательский Дом Томского гос. ун-та, 2015., С. 79–82.
- Ефремов Г.А., Ротанова И.Н., Тикунов В.С.* Картографические новации в атласе «Большой Алтай: природа, история, культура» // Сб. тезисов Всерос. науч. конф. «Международный год карт в России: объединяя пространство и время». Москва, Российская гос. библиотека, 25–28 октября 2016 г. М.: геогр. фак-т МГУ, 2016. 6, С. 87–89.
- Калихман Т.П., Богданов В.Н., Огородникова Л.Ю.* Особо охраняемые природные территории Сибирского федерального округа. Атлас. Иркутск: Изд-во «Оттиск», 2012.
- Комедчиков Н.Н., Котляков В.М., Краюхин А.Н., Тикунов В.С.* Атласная картография в России в начале нового тысячелетия: итоги и перспективы // Геодезия и картография. 2011а. № 1. С. 18–22.

- Комедчиков Н.Н., Котляков В.М., Краюхин А.Н., Тикунов В.С. Итоги и перспективы атласной картографии в России в начале нового тысячелетия // ГЕО-Сибирь-2011. Т. 1. Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия. Ч. 2. Сб. материалов VII Междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011». 19–29 апреля 2011 г. Новосибирск: СГГА, 2011б. С. 16–23.
- Краюхин А.Н., Поздняк Г.В. Атласное картографирование – информационная база устойчивого развития территории // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы Междунар. конф. Калининград, Берлин, 25–31 августа 2006 г.: В 2-х томах. Т. 1. М., 2006. С. 16–25.
- Медведев А.А. Мультимедийный атлас Курильских островов // Геодезия и картография. 2007. № 11. С. 26–30.
- Медико-географический атлас России «Природноочаговые болезни» / Под ред. С.М. Малхазовой. М.: географический факультет МГУ, 2015.
- Национальный атлас России. Т.1. [Электронный ресурс]. <http://xn--80aaaa1bhnc1cl5c4ep.xn--p1ai/cd1/index.html>
- Национальный атлас России. Т.2. [Электронный ресурс]. <http://xn--80aaaa1bhnc1cl5c4ep.xn--p1ai/cd2/index.html>
- Национальный атлас России. Т. 3. [Электронный ресурс]. <http://xn--80aaaa1bhnc1cl5c4ep.xn--p1ai/cd3/index.html>
- Национальный атлас России. Т.4. [Электронный ресурс]. <http://xn--80aaaa1bhnc1cl5c4ep.xn--p1ai/cd4/index.html>
- Пьянков С.В., Шихов А.Н., Абдуллин Р.К. Атлас опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья // Атласное картографирование: традиции и инновации. Материалы X науч. конф. по тематической картографии. Иркутск, 2015. С. 43–45.
- Пьянков С.В., Шихов А.Н., Абдуллин Р.К. Опыт создания регионального атласа опасных гидрометеорологических явлений (на примере Уральского Прикамья) // Географический вестник. 2016. № 1 (36). С. 120–131.
- Ротанова И.Н., Ефремов Г.А. Международный проект атласа «Большой Алтай: природа, история, культура» // 2-й выпуск сетевого издания Grand Altai Research & Education. 2016. С. 15–25.
- Ротанова И.Н., Иванов А.В., Журавлёва С.М., Ефремов Г.А. Большой Алтай: биосферно-культурная уникальность как потенциал межгосударственного сотрудничества // Развитие территорий. 2016а. № 1 (4). С. 93–105.
- Ротанова И.Н., Лхагвасурен Ч., Ефремов Г.А., Филатова Е.С., Билэгтмандах Ч. Структура, содержание и базовые карты разделов «Природа» и «История» Атласа Большого Алтая // География и природопользование Сибири. Вып. 21. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2016б. С. 166–176.
- Ротанова И.Н., Тикунов В.С. Историко-культурное наследие Алтайского региона в атласе «Большой Алтай: природа, история, культура» // Сохранение и изучение культурного наследия Алтайского края. Вып. 20. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2014. С. 267–272.

- Ротанова И.Н., Тикунов В.С. Традиции и новации атласной картографии в России от М.В. Ломоносова до Атласа Большого Алтая // Избранные труды междунар. конф. «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования». Барнаул, 20–24 октября 2015 г. Барнаул : Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2015а. С. 7–18.
- Ротанова И.Н., Тикунов В.С., Перемитина С.В., Ефремов Г.А. Развитие методов построения веб-ГИС картографических моделей, реализуемых при создании атласа Большого Алтая // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов. Тр. конф. Республика Алтай – Новосибирск, 2015а. С. 126–131. [Электронный ресурс] <http://conf.nsc.ru/SDM-2015/ru>
- Ротанова И.Н., Тикунов В.С., Тишкин А.А. Атлас Большого Алтая: природа, история, культура. Идея и подходы к созданию // Геодезия и картография. 20146а. № 1. С. 59–63.
- Ротанова И.Н., Тишкин А.А., Тикунов В.С., Ефремов Г.А. Контент исторического раздела «Атласа Большого Алтая: природа, история, культура» // Информ. бюлл. Ассоциации «История и компьютер». Спец. вып. № 43, сентябрь 2015 г. Материалы междунар. науч. конф. «Геоинформационные системы и технологии в исторических исследованиях». Барнаул, 25–27 сентября 2015 г. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2015б. С. 135–139.
- Сибирь: атлас Азиатской России / Ред. П.А. Терский. Сибирское отделение РАН. Москва–Новосибирск: Изд-во Feoria Pub, 2007.
- Слюдянский район Иркутской области: природа, хозяйство и население. Атлас / Батуев А.Р., Кoryтный Л.М., Суворов Е.Г. и др. Иркутск: Изд-во Ин-та географии им. В.Б. Сочавы, 2012. CD. – 50 карт.
- Снег и Лед на Земле. Электронный атлас [Электронный ресурс] / Т.Е. Хромова, А.А. Медведев, А.Я. Муравьев, Н.М. Зверкова. // М.: Ин-т географии РАН. 2015. <http://www.webgeo.ru/index.php?r=27&page=1&id=5768DOI:10.15356/DASAIIOE2015>.
- Тикунов В.С. Атласная информационная система «Устойчивое развитие России» // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2002. № 5. С. 21–32.
- Тикунов В.С., Ротанова И.Н., Ефремов Г.А., Билэгтмандах Ч. Атласное геоинформационное картографирование: новые подходы на примере Атласа Большого Алтая // ИнтерЭкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгресс, 20–22 апреля 2016 г. 7-я Междунар. конф. «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху «Больших данных»». № 7. Новосибирск: СГУГиТ, 2016. С. 55–62.
- Экологический атлас бассейна оз. Байкал. 2015 (<http://baikal.iwlearn.org/ru/rezultaty/ekologicheskii-atlas-basseina-ozera-baikal-1>).
- Rotanova I.N., Tikunov V.S., Djanaleeva G.M., Myrzagalieva A.B., Xi Ch., Nyamdavaa G., Lkhagvasuren Ch. International mapping project "The Atlas of Greater Altai: Nature, History, Culture" as the foundation for models of sustainable development // Geography, Environment, Sustainability. 2014. V. 7. № 1. P. 99–108.

G.A. Efremov, I.N. Rotanova

**ATLAS GEOINFORMATION MAPPING AND ITS
IMPLEMENTATION ON THE EXAMPLE OF THE ATLAS
«GREAT ALTAI: NATURE, HISTORY, CULTURE»**

The article presents a review of atlas geoinformation mapping experience of recent years, which formed the basis for creating the atlas “Great Altai: nature, history, culture”. For many years different teams of researchers from the countries of Great Altai (Russia, Kazakhstan, Mongolia, China) have been creating thematic maps, specialized databases and geoinformation systems. The use of modern geoinformation technologies allows to create a unified atlas geoinformation model, based on already existing and new thematic maps, which to the fullest extent reflects the natural conditions and historical and cultural values of the international Altai region. The conception and program of the atlas are considered. The structure of the atlas is justified and the content of the sections is described. The information model of the atlas is shown. Atlas databases and their structure correspond to the structure of the atlas itself: thematic databases in accordance with the title sections of the atlas: Nature, History, Culture. Databases are created separately for each of the countries of Greater Altai. Additionally, a database “Basic cartography” is created, which contains the elements of cartographic equipment. The examples of maps are presented.

В.В. Гайда, И.Н. Ротанова

РАЗВИТИЕ ЭКОЛОГО-ФИТОГЕОГРАФИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ В КОНТЕКСТЕ ЛАНДШАФТНОГО ПОДХОДА

Введение

Растительный покров – самый динамичный компонент геосистем, уязвимый индикатор условий произрастания, т.е. экологического состояния территории. Эколого-географические карты растительного покрова (эколого-фитогеографические карты) отражают особенности географической среды, рассматривают растительность как один из компонентов геосистем (ландшафтов), дают представление об изменениях растительного покрова, связанных с антропогенным воздействием, нацелены на решение эколого-географических проблем управления качеством окружающей природной среды. Эколого-фитогеографическое картографирование выделяют как отдельное тематическое направление, производное от геоботанического, биогеографического, биоэкологического картографирования (Ильина, Юрковская, 1999).

Картографический метод исследования, получивший новые возможности на основе применения геоинформационных технологий, – один из основных в эколого-географических исследованиях, в частности, в оценке биоразнообразия и анализе состояния растительного покрова, выполняемых с применением геоинформационного эколого-фитогеографического картографирования.

В связи со значительным антропогенным воздействием на природу Алтайского края и изменениями в биоразнообразии существует необходимость в эколого-географической оценке, выявлении эколого-фитогеографических проблем и анализе характера изменений окружающей среды. Разработанная методика с применением подходов эколого-ландшафтного картографирования и геоинформационных технологий позволила составить ряд эколого-фитогеографических карт (карту деградации растительного покрова, карту угрозы фито-разнообразию) и выявить изменения растительного покрова на территории Алтайского края.

Основные направления эколого-фитогеографического картографирования

Растительный покров – один из наименее защищённых компонентов ландшафта, повсеместно подвергающийся антропогенному воздействию и страдающий от него в первую очередь. Состояние растительности рассматривается как индикатор уровня антропогенной нагрузки на природную среду обитания (повреждение древостоев или хвой техногенными выбросами, уменьшение проективного покрытия и продуктивности пастбищной растительности и пр.) и оценивается как нарушенность не только растительности в качестве компонента природного комплекса, но и ландшафта в целом. Ботанические (геоботанические) критерии весьма чувствительны к нарушениям окружающей среды, они наиболее представительны («физиономичны»), т.е. наилучшим образом помогают проследить зоны экологического состояния по размерам в пространстве и по стадиям нарушенности во времени (Критерии..., 1992; Ротанова, Гайда, 2016а).

В.Б. Сочава выделял особый класс «карт окружающей среды», к которому относил все геоботанические карты, а также другие карты растительности, на которых находят отражение её связи с хозяйственной деятельностью человека. Общая экологическая направленность всего класса карт окружающей среды показывает, что их можно рассматривать как единую картографическую информационно-исследовательскую систему, нацеленную на решение эколого-географических проблем управления качеством окружающей природной среды. Это позволяет более широко использовать экологический критерий в географических и картографических исследованиях, а сами карты окружающей среды определять как эколого-географические, что соответствует современному использованию экологического критерия в изучении географической среды (Сочава, 1979).

Выделяют три этапа применения картографического метода в исследованиях растительности (Белов и др., 2002):

1. *Универсальное (инвентаризационное) картографирование*, в задачу которого входит создание карт растительности в разных масштабах с использованием системных подходов к изучению её пространственно-динамической организации и отражением в легендах и на картах основных генетических и динамических характеристик растительных таксонов;

2. *Оценочное картографирование*, в процессе которого создаются серии специальных карт, раскрывающих разнообразный экологический (средоформирующий, ландшафтно-защитный и др.) и ресурсный потенциал растительности в качественных или количественных показателях, степень её антропогенной нарушенности и устойчивости к различным видам антропогенных воздействий;

3. *Прогнозно-рекомендательное картографирование*, в задачу которого входит разработка и показ на картах растительности в будущем, при различных природно-антропогенных режимах и для разных хозяйственных целей природопользования. Всё это целесообразно выполнять на основе системного подхода к анализу растительности как компонента ландшафтно-географической среды и учёта основных спонтанных и динамических проявлений в ней.

Основные виды эколого-фитогеографических карт выделены А.Г. Исаченко. Он подразделяет их на шесть групп карт: типов (видов) сообществ, деградации растительного покрова, биологического загрязнения (интродукции сорных и ядовитых растений), изменения ресурсно- и средозащитных (охранных) функций растительного покрова, нарушения (поражения) растительности, местообитания видов флоры (Исаченко, 2003).

Вслед за А.Г. Исаченко, в ходе анализа массива геоботанических карт, эколого-географических карт растительности и близких к ним по содержанию или сюжету (около 100 карт), было выполнено подразделение их на такие группы карт: типов растительных сообществ; деградации растительного покрова; динамики растительных сообществ; нарушения (поражения) растительных сообществ (Ротанова, Гайда, 2014). Для карт каждой группы были определены отличия и особенности тематического содержания.

Карты типов растительных сообществ. Карты данной группы объединяет двуединый подход. Картографирование проводится по растительным ценозам, но в рамках классификационных единиц физико-географической дифференциации территории. Растительность характеризуется сложной иерархической пространственной структурой (Ротанова, Гайда, 2014). К данной группе относятся: карта типов растительности Тибетского нагорья (Аридная., 2013), карта растительности республика Башкортостан (Комедчиков, Лютый, 1995), карта растительности Волгоградской области (Комедчиков, Лютый, 1995), карта лесов Приморья (Комедчиков, Лютый, 1995), карта рас-

тельности побережья Финского залива (Волкова и др., 2001) и другие. Отображение структуры растительности также является сюжетом данной группы карт. Примером служит карта лесов Алтайского края (Широкова, 1999) и карта степной растительности России (Карта..., 1990). Данные карты несут информацию о растительных ассоциациях, преобладающих на исследуемых территориях.

Карты деградации растительного покрова. На картах отображаются изменения, связанные с ухудшением условий произрастания, например, с упрощением растительных ценозов, вызванным антропогенной деятельностью человека. Выделяют очень сильную, сильную, среднюю, слабую и очень слабую степени деградации растительности; деградацию растительных сообществ выражают в процентных соотношениях (Ротанова, Гайда, 2014). Примерами карты данной группы могут служить карта деградации почв и растительного покрова лиманов Малоузенской системы Саратовской области (Тарасенко, Туктаров, 2013), карта деградации лесных массивов Иркутской области (Атлас..., 2004) и др.

Карты динамики растительных сообществ. Карты содержат информацию о стадиях восстановления растительного покрова, характере изменчивости и скорости изменений, происходящих в фитоценозах. Они могут быть использованы для прогнозов и сценариев развития экологической ситуации. Примерами служат: карта стадий восстановления растительности окрестностей р. Ангары (Отчет..., 2009), схематическая карта восстановленного растительного покрова Нижегородской области (Схематическая..., 2016), карта изменения лесистости за 1949–1988 гг. в странах СНГ (Комедчиков, Лютый, 1995), карта динамики лесистости бассейна оз. Байкал (Комедчиков и др., 1995), карта восстановления растительного покрова Западной Сибири после нарушений (Комедчиков, Лютый, 1995) и др.

Карты нарушения (поражения) растительных сообществ. На картах отображаются нарушения растительных ценозов, вызванные природными условиями или антропогенной деятельностью человека. К природным факторам, вызывающим нарушения растительности, относятся различные организмы-вредители, засухи, природные пожары, к антропогенным факторам – вырубка, распашка земель, пожары, произошедшие по вине человека и др. По картам составляют рекомендации по восстановительным работам. Примеры: карта освоенности лесов рубками водоохраной зоны озера Байкал (Комедчиков, Лютый, 1995), карта нарушенности лесов пожарами водоохраной зоны Бай-

кала (Комедчиков, Лютый, 1995), карта нарушенности растительного покрова южной части Камчатки (Комедчиков, Лютый, 1995), карта поражённости растительности г. Москва (Экологический..., 2002).

Приоритетное значение, которое имеют карты растительного покрова в системе эколого-географического картографирования, вызывается тем, что именно растительный покров в значительной степени определяет экологическое состояние той или иной территории, хотя важное научное и прикладное значение имеют и другие биогеографические карты, ориентированные на решение эколого-географических проблем (Rotanova, Gaida, 2016).

Центральное место, которое занимают карты растительности в системе эколого-географического картографирования, определяется тем, что именно растительный покров в значительной степени определяет экологическое состояние той или иной территории, хотя важное научное и прикладное значение имеют и другие биогеографические карты, ориентированные на решение эколого-географических проблем (Методические..., 1992).

Современное эколого-географическое картографирование растительности в своих концептуальных и методических построениях во многом опирается на теоретический и практический опыт картографического изучения растительности, накопленный в нашей стране и за рубежом. Составлено большое количество универсальных и специальных геоботанических карт, решающих различные научные и прикладные задачи. Имеется целый ряд обобщающих публикаций, в которых достаточно подробно раскрываются многие особенности картографирования растительности (Критерии..., 1992; Кочуров и др., 2009).

Эколого-фитогеографическое картографирование Алтайского края

Процесс эколого-фитогеографического картографирования методически не прост, информативно объёмен. Картографическая интерпретация фактологических материалов позволяет изучить не только закономерности ландшафтного строения территории, состояние её геосистемно-структурированных комплексов, но и выявить важнейшие негативные явления, разработать рекомендации по оптимизации природопользования и охране окружающей природной среды (Rotanova, Gaida, 2016).

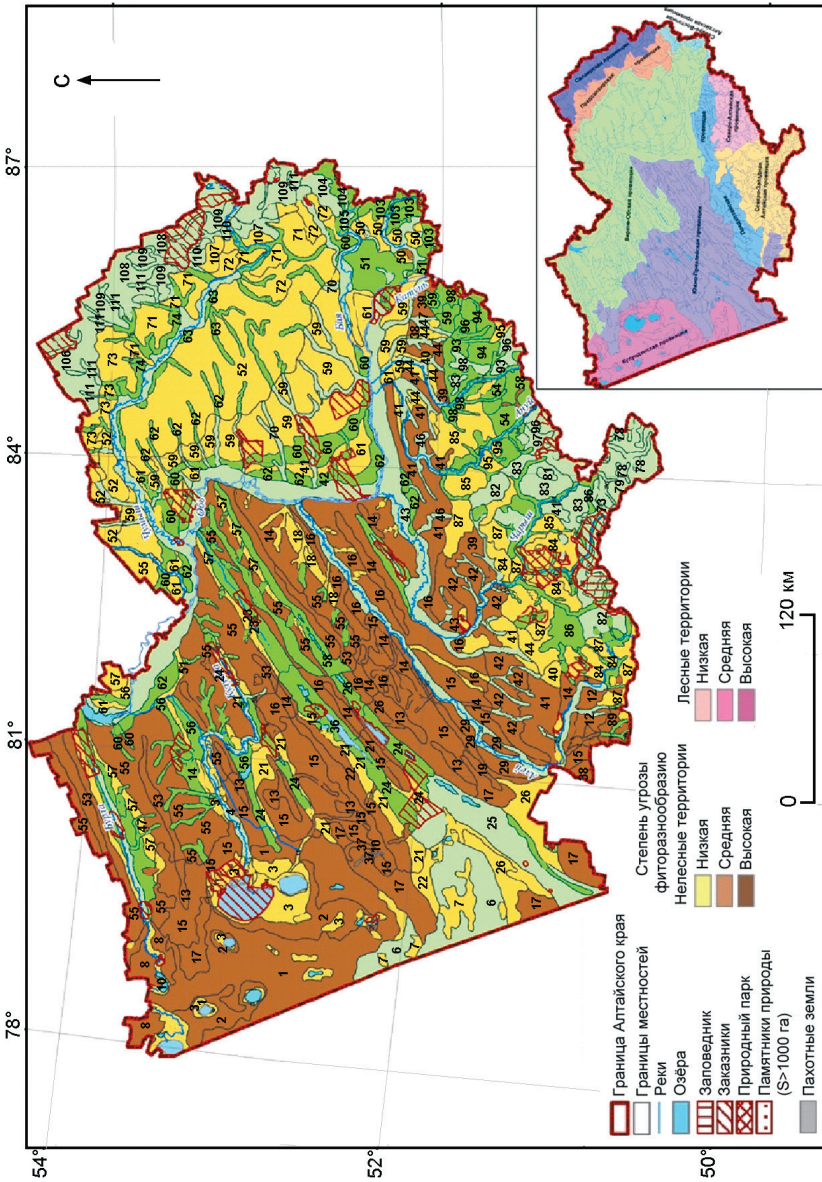


Рис. 1. Карта степени деградации растительного покрова Алтайского края

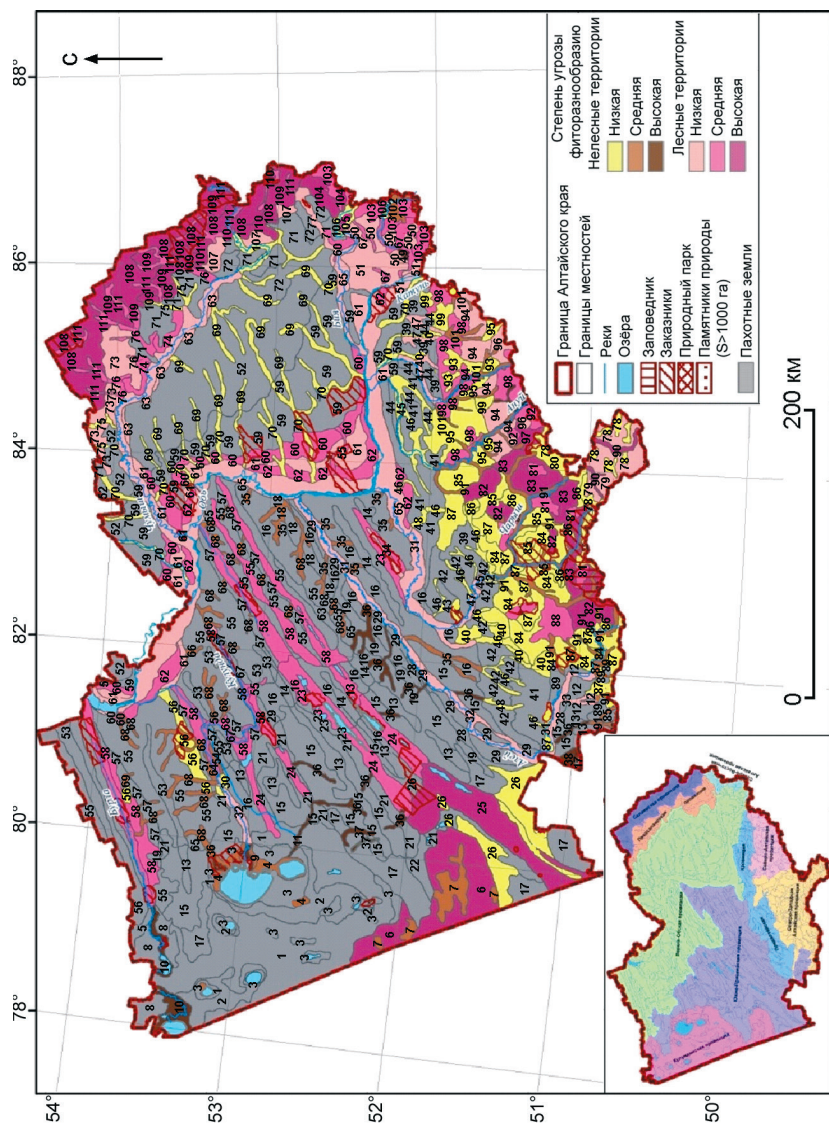


Рис. 2. Карта степени угрозы фитообразию Алтайского края

Территория Алтайского края довольно плотно и интенсивно освоена, её ландшафты испытывают значительную хозяйственную нагрузку и во многих районах существенно нарушены. В связи с возрастающим антропогенным воздействием на природу региона возникла необходимость в более углублённом изучении структуры и экологического состояния ландшафтов, характера изменений среды (Ротанова и др., 1997; Ротанова и др., 2015; Ротанова, Гайда, 2016б).

В основу оценки эколого-фитогеографических проблем Алтайского края положен ландшафтный подход, который включает учёт и изучение всех основных значащих факторов, как природного, так и антропогенного характера, определяющих состояние природной среды. Ландшафтный подход комплексно используется в сочетании с эколого-географическим подходом, который характеризует геосистемы в аспекте среды жизнедеятельности человека, а также с картографическим методом исследований (Гайда, 2015 а, б; Гайда, Ротанова, 2015 а, б).

В рамках работ по оценке современного состояния растительного покрова были составлены геоинформационные карты, в числе которых карты деградации растительного покрова и угрозы фиторазнообразию. В качестве основных единиц ландшафтного изучения и картографирования принята категория местностей, которые понимаются как группа территориально смежных урочищ или как природный комплекс, территориально устроенный более сложно, чем урочище, но стоящий на таксономическом уровне ниже ландшафта (Ротанова и др., 1997; Ротанова, Андреева, 2010, 2014; Ротанова, Гайда, 2016б).

Базовой основой для составления карты деградации растительного покрова и карты угрозы фиторазнообразию послужила ландшафтная карта масштаба 1:1 500 000, отображающая таксоны местностей. На ландшафтной карте выделено 111 типов местности (Ротанова, Андреева, 2010). Для представления «восстановленного» естественного состояния растительного покрова территории Алтайского края и анализа его изменений за последние 100 лет была использована «Схематическая карта растительности Алтайского округа с нанесением изотерм, изотер, изохимен и изогьет», составленная в 1899 г. И.П. Выдриным, З.И. Ростовским. Эта карта была опубликована как приложение к «Материалам по исследованию почв Алтайского округа» (Выдрин, Ростовский, 1899). Схематическая карта была оцифрована и послужила для первоначальной (базовой) геоботанической характеристики территории Алтайского края.

В легенду ландшафтной карты были внесены изменения в соответствии с представлениями о типах растительности, изложенными в работах П.Н. Крылова. В легенде нашли отражение следующие растительные сообщества: степи с доминированием кипца, степи с доминированием ковыля, березовые и отчасти осиновые рощи и колки; густые берёзовые и осиновые леса; сосновые боры; редкий смешанный лес (берёза, осина, пихта, кедр, ель, лиственница); густой смешанный лес (те же породы) (Ротанова и др., 2015).

Степень детальности эколого-фитогеографических исследований соответствовала территориальному уровню изучаемых геосистем, а также определялась обеспеченностью информационными материалами. При построении карт учитывались факторы антропогенного воздействия, которые имеют площадное распространение и характерны для Алтайского края. К таким были отнесены использование земель, в основном сельскохозяйственное, а также лесохозяйственное. Количественная информация по природопользованию привязана к контурам местностей по основным видам использования: пашня, сенокосы, пастбища, лесопользование. Учитывалось наличие элементов селитебных территорий, площадь которых, в основном, не отражается на карте в принятом для исследования масштабе.

При анализе деградации растительности рассматривались следующие факторы: полное сведение естественной растительности при распашке, её нарушенность при лесопромышленных разработках, пастбищная дигрессия. При оценке обрабатывались данные по площади пашни, пастбищ и лесов для каждой местности (Инвестиционные..., 2016; Основные..., 2012; Сельское..., 2016).

Все используемые для оценки количественные показатели были внесены в базу данных. Исходная информация по землепользованию включала статистические отчётные материалы по муниципальным образованиям (административным районам) и сельскохозяйственным производственным предприятиям, усреднённые или максимальные за 2005–2015 гг. Для удобства вычислений показатели использования земель были представлены в базе данных в процентном выражении от площади местности.

Шкала оценки деградации растительности была разработана с опорой на ранее выполненные для территории Алтайского края эколого-географические исследования и рекомендательно-нормативные ведомственные документы. Шкала имеет четыре степени оценки в соответствии с ведущими критериями: 1) низкая степень: площадь пашни и пастбищ суммарно не превышает 30% площади местности, рубка леса не производится;

2) средняя степень: площадь пашни и пастбищ суммарно не превышает 50% площади, дигрессия пастбищ низкой степени, лесные массивы незначительны, в основном непромышленное лесопользование; 3) высокая степень: площадь пашни не превышает 70% площади местности, дигрессия пастбищ средней степени, наличие рубок леса на значительной площади; 4) очень высокая степень: пашня более 70% площади местности, дигрессия пастбищ высокой степени и значительные вырубki леса.

Угроза фиторазнообразию была оценена количественно-качественным методом на основе анализа хозяйственного использования ландшафтов в три степени (низкая, средняя, высокая) проявления по названным выше критериям. При этом учитывались следующие аспекты. Если более 50% территории занято пашнями, то оценка угрозы фиторазнообразию не производилась, так как на данной территории практически не осталось естественных фитоценозов. Сенокосы также не учитывались при оценке угрозы фиторазнообразию, поскольку они занимают сравнительно небольшие территории и способны к быстрому восстановлению растительности.

Данные критерии послужили основой для построения геоинформационных карт «Степень деградации растительного покрова Алтайского края» и «Степень угрозы фиторазнообразию» (рис. 1 и 2). Пространственный анализ показал, что очень высокая степень деградации растительного покрова наблюдается на 51% территории Алтайского края; высокая степень деградации – на 25%; средняя степень – на 10% и низкая степень – на 13%.

Деградация растительного покрова сопровождается многочисленными негативными последствиями: обеднением видового состава, упрощением структуры, заменой естественных коренных растительных сообществ производными синантропными и культурными, уменьшением генетического разнообразия отдельных видов, раздроблением и изоляцией популяций. В ходе антропогенной трансформации растительного покрова при чрезмерной нагрузке на месте природнозональных растительных сообществ возникают маловидовые и низкопродуктивные «антропогенные пустыри». В этом случае восстановление первоначального растительного покрова становится практически невозможным.

Анализ ситуации в контексте угроз фиторазнообразию показывает, что наименьшим угрозам подвержены Предсалаирская и Предалтайская провинции, а также долины крупных рек (Оби, Алей, Чумыша, Чарыша). Средний и высокий уровень угроз фиторазнообразию наблюдается в долинных комплексах ряда рек в связи с перевыпасом животных. Относительно сохранена естественная растительность в сосновых лесах (средняя

степень угрозы фиторазнообразию), однако территории, подвергшиеся пожарам, характеризуются высокой степенью угрозы фиторазнообразию. Высокая степень угрозы фиторазнообразию наблюдается на территории Северо-Западной Алтайской и Северо-Алтайской провинций.

В связи с промышленным лесопользованием в пределах Салаирского кряжа степень угрозы фиторазнообразию здесь фрагментарно повышается до высокой. Территории Кулундинской, Южно-Приалейской и Верхне-Обской провинций в значительной степени распаханы (более 50% территории), это зоны интенсивного сельского хозяйства и, соответственно, естественная растительность здесь произрастает лишь на неудобьях.

Заключение

Эколого-географические карты растительности (эколого-фитогеографические карты) отражают эколого-ресурсный потенциал территории – набор условий и ресурсов природной среды, который обеспечивает существование человека и необходим для его хозяйственной деятельности. Они имеют важное прикладное значение и применяются при оценке качества природной среды и перспективного хозяйственного использования территорий. Представленная методика на основе подходов эколого-ландшафтного картографирования и геоинформационных технологий позволила создать эколого-фитогеографические карты (карту деградации растительного покрова и карту угрозы фиторазнообразию) и выявить изменения растительного покрова на территории Алтайского края за последние 100 лет.

Литература

- Аридная растительность мира. Типы растительности Тибетского нагорья. [Электронный ресурс] 2013 – Режим доступа: <http://ukhtoma.ru/geobotany/asia11.htm>.
Атлас. Иркутская область: экологические условия развития. М.–Иркутск, 2004. 90 с.
Белов А.В., Лямкин В.Ф., Соколова Л.П. Картографическое изучение биоты. Иркутск: Облмашинформ, 2002. 160 с.
Волкова Е.А., Хромцов В.Н., Исаченко Г.А., Бубличенко Ю.Н., Бубличенко А.Г., Макарова М.А. Комплексное картографирование природной среды побережья Финского залива (район Лужской губы) // СПб.: Изд-во Санкт-Петербургской гос. хим.-фармац. академии, 2001. 140 с.

- Выдрин И.П., Ростовский З.И. Материалы по исследованию почв Алтайского округа: с приложением двух карт, почвенной и растительно-климатической, диаграмм и роз ветров. Барнаул: Типо-литография при Главном управлении Алтайского округа, 1899. 171 с.
- Гайда В.В. Анализ геоботанических карт с целью развития геоинформационного эколого-географического картографирования растительного покрова (эколого-фитогеографического картографирования) // Экологический марафон XXI века: сб. материалов II междунар. дистанционного конкурса. Самара. 31 января – 7 февраля 2015 г. Самара: Изд-во «Инсома-Пресс», 2015а. С. 116–122.
- Гайда В.В. Изучение деградации растительного покрова на территории Алтайского края при помощи картографического метода исследования // Сб. научных статей междунар. конф. «Ломоносовские чтения на Алтае: фундаментальные проблемы науки и образования». Барнаул, 20–24 октября 2015 г. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2015б. С. 1339–1344.
- Гайда В.В., Ротанова И.Н. Особенности тематического содержания эколого-географических карт растительного покрова // Зап. Усть-Каменогорского филиала Казахского геогр. об-ва. К 70-летию Великой Победы (1941–1945 гг.). Сб. статей: Материалы междунар. науч.-практич. конф. Усть-Каменогорск, 26–27 января 2015 г. Вып. 9. Усть-Каменогорск: Шыгыс Полиграф, 2015а. С. 69–76.
- Гайда В.В., Ротанова И.Н. Оценка угроз фиторазнообразию с применением картографического метода исследования (на примере территории Алтайского края) // Природные условия, история и культура Западной Монголии и сопредельных регионов: Материалы XII междунар. науч. конф. Ховд, Монголия, 18–21 сентября 2015 г. Т. I. Естественные науки. Ховд–Томск. Издательский Дом Томского гос. ун-та, 2015б. С. 64–68.
- Ильина И.С., Юрковская Т.К. Фитоэкологическое картографирование и его актуальные проблемы // Ботанический журнал. 1999. Т. 84. № 12. С. 1–7.
- Инвестиционные паспорта муниципальных образований. [Электронный ресурс] 2016: http://www.econom22.ru/investment/investoram/investment_passport_of_municipalities/.
- Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского гос. ун-та, 2003. 192 с.
- Карта степной растительности, 1990: <http://oopt.info/index.php?page=195>.
- Комедчиков Н.Н., Лютый А.А. Экология России в картах: аннотированный библиографический указатель карт и атласов. М.: ЦИСН Миннауки РФ и РАН, 1995. 569 с.
- Кочуров Б.И., Шишкина Д.Ю., Антипова А.В., Костовска С.К. Геоэкологические картографирование / Под ред. Б.И. Кочурова. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 192 с.
- Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия [Текст] / Под ред. Н.Г. Рыбальского. М.: Минприроды России, 1992. 73 с.

- Методические установки по созданию эколого-географической карты масштаба 1:2 500 000 / Под ред. О.А. Евтеева. М.: Изд-во МГУ, 1992. 111 с.
- Основные показатели социально-экономического положения муниципальных районов и городских округов Алтайского края. 2006–2011: Статистический сборник / Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю. Барнаул, 2012. 334 с.
- Отчет о результатах научно-исследовательских работ и научно-организационной деятельности в 2009 г. Директор. Фрагмент карты восстановительной динамики растительности Среднего Приангарья. [Электронный ресурс]: <http://docs.podelise.ru/docs/index-8874.html>.
- Ротанова И.Н., Андреева И.В. Эколого-ландшафтное обоснование системы особо охраняемых природных территорий Алтайского края // Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 159 с.
- Ротанова И.Н., Гайда В.В. Эколого-географическое картографирование растительности // Развитие исследовательских компетенций молодежи в условиях инновационного образовательного кластера: сборник научных статей всероссийской научно-практической конференции. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2014. С. 332–338.
- Ротанова И.Н., Гайда В.В. Оценка нарушенности ландшафтов природного парка «Предгорье Алтай» // География и природопользование Сибири. Вып. 22. Барнаул: Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2016а. С. 131–138.
- Ротанова И.Н., Гайда В.В. Оценка угроз фиторазнообразию Алтайского края с применением геоинформационного картографирования // ИнтерЭкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгресс, 20–22 апреля 2016 г. Новосибирск: 7-я Междунар. конф. «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху “Больших данных”». Сб. материалов, № 7. Новосибирск, 2016б. С. 31–37.
- Ротанова И.Н., Пудрик Л.Н., Щербаков А.Н., Черных Д.В. Экологическое состояние ландшафтов Алтайского края (методические подходы к оценке и картографирование) // Сибирский экологический журнал. 1997. Т. 4. № 2. С. 215–229.
- Ротанова И.Н., Силантьева М.М., Курепина Н.Ю., Гайда В.В. Изучение освоения территории Алтайского края на основе архивных картографических источников с применением ГИС-технологий // Информ. бюлл. Ассоциации «История и компьютер». Специальный выпуск № 43, сентябрь 2015. Материалы междунар. науч. конф. «Геоинформационные системы и технологии в исторических исследованиях». Барнаул, 25–27 сентября 2015 г. Барнаул, Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2015. С. 132–135.
- Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство. [Электронный ресурс]. 2016: http://akstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/akstat/ru/statistics/enterprises/agriculture/
- Сочава В.В. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука, 1979. 190 с.

- Схематическая карта восстановленного растительного покрова Нижегородской области. 2016. [Электронный ресурс]: <http://dront.ru/old/Ir/%C0%CD%C0%CB%C8%7/Ir-analis-ris02.jpg>.
- Тарасенко П.В., Туктаров Р.Б. Современное эколого-мелиоративное состояние инженерных систем лиманного орошения полупустынной зоны Саратовского Заволжья // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. С. 427–433.
- Широкова С.Л. Информационные системы и технологии. Леса Алтайского края. [Электронный ресурс] 1999: http://www-sbras.nsc.ru/win/gis/lib/reports/97/barnaul_i.html.
- Экологический атлас Москвы: Москва: ГУП НИИПИ Генплана г. Москвы, 2002. карта пораженности растительности. [Электронный ресурс]: <http://www.ionizatory.info/health/map8.shtml>.
- Rotanova I.N., Gaida V.V. Evaluation of threats to phytodiversity by means of geoinformation cartography // Global Geospatial Information and High Resolution Global Land Cover/Land Use Mapping. Proc. of ISPRS WG IV/2 workshop, 21 April 2016. Novosibirsk: SSUGT, 2016. P. 86–92.

V.V. Gaida, I.N. Rotanova

DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL AND PHYTOGEOGRAPHICAL MAPPING IN THE CONTEXT OF A LANDSCAPE APPROACH

Modern ecological phytogeographical cartography, in its conceptual and methodological aspects, is based on theoretical and practical knowledge of vegetation, accumulated in Russia and foreign countries. There is a number of summarizing publications which thoroughly describe the peculiarities of mapped vegetation. Considerable quantities of general and specific geobotanical maps have been created to solve various scientific and applied problems. Ecological and phytogeographical maps are of paramount applied significance and are used to evaluate the quality of the environment and perspective economic use of the territories. As a rule, the creation of ecological phytogeographical maps is based on a twofold approach: traditional ecological (bioecological) and ecological-geographical. The threat to phytodiversity is a danger of vegetation transformation and conditions under which the evolution and functioning of species can aggravate or stop. The following criteria were used to design the map of vegetation degradation and the degree of threat to phytodiversity on the territory of the Altai Krai.

Н.И. Тульская, Е.И. Голубева, Т.В. Котова

КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ПРОДУКЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ

Введение

Первые карты, отражающие элементы растительного покрова, появились еще в XIV в. Становление картографирования растительности в современном понимании можно отнести к концу XIX – началу XX вв. Именно тогда были заложены основы геоботаники в мире и основы геоботанического картографирования в России. Современная российская школа геоботанического картографирования во многом обязана трудам Н.И. Кузнецова, В.В. Алехина, А.П. Ильинского, В.Л. Комарова и других, создавших в 1920–40-е годы не только первые карты растительности, но и сформировавших регионально-типологический принцип, ставший традиционным для геоботанического картографирования в России. Дальнейшее развитие научно-методических принципов геоботанического картографирования связано с научными школами, которые возглавили В.Б. Сочава и Е.М. Лавренко. С 1950-х годов началось систематическое изучение и картографирование растительного покрова на разных территориальных уровнях: мировом, региональном, локальном. При этом внимание уделяли не только изучению пространственно-временных закономерностей растительности, но и исследованиям (в том числе количественных показателей) структурно-функциональной организации экосистем.

К настоящему времени собран довольно большой объем информации о процессах накопления органического вещества, энергии и их трансформации, которые служат показателями структурно-функциональной организации, состояния и устойчивости, роли в биогеохимических процессах экосистем. Картографирование количественных характеристик метаболизма в экосистемах позволяет отразить динамические процессы, оценить их устойчивость к воздействию и пространственные изменения в зависимости от природных и антропогенных факторов. В комплексных географических атласах появились карты, отражающие продукционные процессы в экосистемах.

Прошлые исследования

Отечественная школа географической картографии имеет богатый опыт создания различных карт растительности, изданных в виде отдельных произведений или включённых в атласы. Содержание первых советских карт (Карта растительности европейской части СССР, 1928; Геоботаническая карта европейской части СССР, 1927–1932; Карта современного растительного покрова Московской области, 1934, Карта растительности СССР, 1939; Геоботаническая карта СССР, 1954 и др.) и фундаментальных атласах (Большой Советский Атлас Мира, руководитель работ А.П. Ильинский, Физико-географический атлас мира, руководитель работ В.Б. Сочава) ограничивалось показом типов растительности, флористическим или геоботаническим районированием, ареалов отдельных видов растений.

Начиная с 1950–60-х годов благодаря научно-методическим исследованиям природно-ресурсного потенциала отдельных регионов тематика карт растительности существенно расширилась. В комплексные региональные атласы помещают карты лесов, болот, торфяных залежей, кормовых угодий, древесных и недревесных ресурсов, лесистости, заболоченности и др. (Атлас Иркутской области, 1961; Атлас Тюменской области, 1971; Атлас Алтайского края, 1978 и мн. др.). С 1963 г. начинает издаваться ежегодник «Геоботаническое картографирование», в котором освещаются достижения отечественных и зарубежных специалистов в области геоботанического картографирования и обсуждаются различные методические вопросы.

Особо следует отметить крупные центры геоботанического картографирования в Сибири – в Иркутске под руководством В.Б. Сочавы и в Новосибирске под руководством А.В. Куминовой (Сочава, Куминова, 1970; Сочава, 1979). Специфика сибирского центра заключается в специализации на крупно- и среднемасштабном картографировании. Одна из первых опубликованных работ, посвящённых картографическому методу исследования продукционных процессов, принадлежит сотрудникам СО АН СССР (Снытко и др., 1977). В ней рассматриваются подходы к созданию карт запасов фитомассы как наиболее динамичного показателя метаболизма в геосистемах. Фактическими данными для создания карт стали материалы многолетних стационарных и маршрутных наблюдений в степном Забайкалье. Авторы использовали разные методики для построения изолинейных карт: на

основе линейной интерполяции по точкам наблюдения, с использованием пространственного (метод «скользящего кружка» с введением весовых коэффициентов) и временного (с выводом уравнений множественных зависимостей между фактическими значениями в точках фитомассы и суммами температур выше 10 °С и осадков за тёплый период) осреднения. Описанная методология может использоваться при картографировании продукционных процессов в крупных и отчасти средних масштабах, для выявления лидирующих факторов образования фитомассы, но, к сожалению, применима только при достаточно высокой плотности точек непосредственных наблюдений.

Другим примером исследований продукционных процессов иркутской школы геоботанического картографирования могут служить карты научно-справочного атласа «Байкал» (1993). В разделе «Органический мир» для территории, примерно совпадающей с современной центральной экологической зоной Байкала (ядро охранный зоны), в пределах границ укрупнённых группировок растительных сообществ (болота, луга, горные степи, различные типы леса и др.) показаны запасы надземной фитомассы, ежегодная продукция надземной части фитомассы и запасы подземной фитомассы.

Активизация изучения продукционных процессов как у нас в стране, так и за рубежом напрямую связана с Международной биологической программой, начавшейся в конце 1960-х годов. Именно она стала катализатором большого количества специальных исследований. В этой связи следует отметить труды Н.И. Базилевич и её коллег (Родин и др., 1967; Базилевич и др., 1978; Базилевич и др., 1986, Титлянова и др., 1988), внёсших неоценимый вклад в становление системы изучения продукционных процессов экосистем. Особое место занимает фундаментальный труд «Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии» (Базилевич, 1993), в котором не только собран фактический материал по первичной продуктивности экосистем (до сих пор эта информация остаётся основной базой данных для исследований продукционных процессов) более чем за 30-летний период на 2,5 тысяч пробных площадях, но и проведено его картографическое обобщение. На основе карты растительности СССР (Физико-географический атлас мира, 1964) составлены три карты масштаба 1:10 000 000: фитомасса, продукция и мортмасса. Каждому выделу растительности присвоены интервальные значения, определённые на основе полевых измерений.

В это же время коллектив лаборатории под руководством Н.И. Базилевич публикует работу (Базилевич и др., 1986), в которой обобщаются материалы исследований на глобальном уровне. В монографии приведена серия карт на мир, включающая следующие темы: распределение фитомассы в растительном покрове суши Земли, распределение количества органического вещества ежегодного прироста в растительном покрове суши Земли, распределение органического вещества подстилки, степного или пустынного войлока в растительном покрове суши Земли, интенсивность биологического круговорота и др. Карты выполнены в масштабе 1:100 000 000 и дают обобщённую пространственную характеристику.

Эти работы получили развитие в других исследованиях. Так, в фундаментальной работе «География Мирового океана» (Физическая география..., 1980) анализируется распределение жизни в океане, а главными количественными показателями состояния живого вещества в океане и на суше определены биомасса (как стационарный показатель) и продукция (как динамический), что отражено на соответствующих картах (масштаб 1:160 000 000). В отличие от других работ показатели приведены в сыром весе, что осложняет сопоставление данных. Тем не менее, это уникальные карты, так как из-за сложности определения биомассы и первичной продукции в океане подавляющее большинство карт ограничивает свой охват только сушей.

Информация о ежегодной продукции в разных экосистемах территории бывшего СССР, определённых на основе полевых методов, продолжает аккумулироваться на портале «Welcome To BioDat» (База данных...), посвящённом проблемам биоразнообразия. Эти материалы в синтезе с результатами обработки данных дистанционного зондирования активно используются при создании карт в научных и прикладных исследованиях, посвящённых оценке экосистемных услуг, охране биоразнообразия, прогнозу урожайности, мониторингу растительности (Виноградов и др., 1994; Тишков, 2005; Разработка... и др.). Использование данных дистанционного зондирования для картографирования состояния лесов, в том числе определения изменчивости продукции, нашло отражение и в крупных международных проектах (SIBERIA, BIOMASAR и др.), выполнявшихся в 1990–2000-х годах.

В результате всех этих исследований карты продукционных процессов стали включаться в атласы. Среди первых атласов, расширивших тематику и включивших новые сюжеты, можно отметить Атлас

«Окружающая среда и здоровье населения России» (1995); Атлас биологического разнообразия лесов Европейской части России и сопредельных территорий (1996); Атлас «Природа и ресурсы Земли» (1998); Национальный атлас Украины (2007); Федеральный атлас «Природные ресурсы и экология России» (2003).

Традиционными сюжетами карт стали накопление фитомассы, мортмассы и ежегодной продукции. В том или ином варианте они включены во все перечисленные атласы. Все три показателя отражены в атласе «Природа и ресурсы Земли»; его отличительная особенность – отображение показателей наряду с сушей и в Мировом океане. Это одна из последних работ Н.И. Базилевич.

Национальный атлас Украины содержит карту продуктивности лесов. В атласе «Природные ресурсы и экология России» приведены две карты: ежегодная продукция фитомассы и потенциальная первичная продуктивность экосистем. В основу создания первой легли материалы полевых исследований; вторая составлена на основе расчёта зависимости величины ежегодной продукции от среднегодовой температуры и количества осадков. Несмотря на некоторые допущения (продуктивность зависит не только, а возможно и в большей степени, от количества солнечной радиации) эти карты можно рассматривать как первую попытку сравнения продуктивности коренной и реальной растительности.

Отметим, что в настоящее время наиболее распространены три подхода к отображению показателей продукционных процессов. В первом случае на картах количественно показываются фитомасса, продукция, запасы мортмассы (реже); такие карты мелких масштабов, как правило, коррелируют с картами Н.И. Базилевич (1993). При втором подходе фитопродукционные функции растительности входят в оценку хозяйственной (ресурсной) ценности растительности; на картах приводятся количественные показатели продукции (аналогично урожайности сельскохозяйственных культур, например, для ресурсов древесины, сенокосов, ягодных и ореховых ресурсов) и даётся качественная оценка возможности оптимального использования растительного покрова (Козлова, 1966, Белов, Соколова, 2013). Наконец, в последней группе карт продуктивность учитывается как один из факторов при оценке экологических функций растительного покрова (Волкова, Федорова, 1993).

Совершенствование технологий и повышение объёмов и степени детальности исследований позволили развить подходы к картографированию продукционных процессов, предложить комплексные

показатели для отражения продукционных процессов экосистем, перейти к анализу их пространственных изменений в зависимости от природных и антропогенных факторов.

Методология исследований

Как указывалось выше, изучение изменений продукционных характеристик экосистем как индикатора их устойчивости чаще всего сводится к количественным оценкам величины биомассы (как живой, так и неживой её части) и ежегодной продукции. Для суши 99% запасов биомассы экосистем составляет фитомасса (Базилевич и др., 1986, Голубев, 1999); фитомасса и продукция – это самые простые показатели для картографирования. Ухудшение естественных условий или антропогенное воздействие ведут к снижению скорости продукционных процессов и, как следствие, к уменьшению ежегодной продукции и общего запаса фитомассы. Показатели фитомассы и продукции отражают стратегию коренных сообществ, которая понимается нами как реализация через продукционные процессы адаптивных возможностей растительности в конкретных природных (гидротермических и эдафических) условиях. Так, в степных сообществах значения ежегодной продукции очень высоки (15–25 т/га в год), но она практически не аккумулируется – запасы фитомассы там, наоборот, низки (10–30 т/га). Таёжные леса имеют принципиально другую стратегию: ежегодная продукция в южной тайге составляет в среднем составляет 5–8 т/га в год, однако они обладают значимым общим запасом фитомассы (120–180 т/га). Таким образом, карты запасов фитомассы и продукции отражают распространение экосистем разной степени «активности» в биосферных процессах. Минимум продукции отмечается в Арктике и в высокогорных районах с тундровой и тундрово-редколесной растительностью. С продвижением на юг в таёжных экосистемах продукция возрастает. Своего максимума показатели достигают в широколиственных лесах и лесостепных сообществах, снижаясь далее при движении на юг. На картах по количеству фитомассы и продукции чётко выделяется интразональная растительность – поймы и дельты рек, болота. Их распространение и скорость продукционных процессов в большой степени зависит от специфических условий (особенностей субстрата, особенностей гидрологического режима и др.).

Очевидно, что для полной оценки устойчивости экосистем необходимо рассматривать комплексные показатели продукционных процессов. Одним из первых показателей такого рода можно считать степень прогрессивности ландшафта (коэффициент K), предложенный А.И. Перельманом (1973) для оценки энергетических закономерностей эволюции биосферы. Показатель рассчитывается как отношение логарифмов значений продукции и биомассы ($K = \lg \Pi / \lg Б$) и отражают эффективность наземных экосистем по использованию поступающей солнечной энергии, а возрастание ежегодной продукции на единицу биомассы следует рассматривать как показатель прогрессивного развития ландшафта.

Для отражения продукционных процессов в наземных экосистемах и совокупной оценки вклада в продукционные процессы фитомассы и продукции с последующим картографированием предлагается использовать следующие комплексные показатели: 1) продукционный потенциал – произведение показателей запаса фитомассы и продукции конкретного выдела на карте растительности, ранжированное относительно максимально или минимально возможного значения этой величины. Продукционный потенциал характеризует энергетический запас и особенности структурно-функциональной организации как естественных, так и антропогенно трансформированных экосистем и отражает реализацию данной экосистемой природных (гидротермических, климатических, почвенных, орографических) условий и степень антропогенного воздействия; 2) период накопления фитомассы – отношение запаса фитомассы и ежегодной продукции. Этот показатель показывает количество лет, за которое данный тип экосистемы может накопить характерную для него фитомассу при существующей скорости ежегодного прироста фитомассы.

Создание карт продукционного потенциала сопряжено с определёнными сложностями, связанными со спецификой количественного определения запасов фитомассы. Как правило, значения, привязанные к выделам определённой растительности, получают интервальные оценки. Поэтому при расчетах в большинстве случаев используются осреднённые для конкретного выдела значения продукции и фитомассы. Использование геоинформационных технологий позволяет рассмотреть все возможные комбинации (соотношение минимальных значений продукции и фитомассы, минимальной продукции и максимальной фитомассы и т.д.).

Кроме этих показателей, можно рассчитать коэффициент полезного действия использования растительным покровом фотосинтетически активной радиации (ФАР). Этот показатель ($KПД_{ФАР}$) представляет собой отношение величины продукции, выраженной в энергетических единицах, к приходу ФАР. Долгое время определение этого параметра было затруднено из-за различий в картографическом представлении исходных данных о продукции (ареалы) и приходе солнечной радиации (изолинии). Первичные данные о солнечной радиации получают на актинометрических станциях, сеть которых очень разрежена. Кроме того, для метеостанций вообще характерна приуроченность к населённым пунктам, а не к территориям с коренными/условно коренными сообществами. В связи с этим использование данных первичных «точечных» наблюдений не позволяет рассчитать $KПД_{ФАР}$. При осреднении многолетних данных – а именно они нужны для расчета $KПД_{ФАР}$ – создаются карты прихода солнечной радиации в изолиниях. Интерполяция значений солнечной радиации для каждого выдела растительности, в пределах которого продукция представлена в интервальном виде (от – до), достаточно сложная операция. Всё это привело к тому, что исследования по определению $KПД_{ФАР}$ до последнего времени проводились только в мелких масштабах, поскольку точность согласования разного рода данных была недостаточной для карт более крупных масштабов (Дьяконов и др., 2004).

Однако успешное создание в последние десятилетия глобальных климатических моделей, учитывающих данные стационарных наблюдений и дистанционного зондирования, открыло совершенно новые возможности для определения ФАР и расчёта $KПД_{ФАР}$. Одна из таких наиболее известных глобальных баз данных – это открытая база данных NASA POWER/SSE, которая включает большое количество различных метеорологических характеристик, определяемых разными методами (натурными, дистанционными, расчётными) для точек земной поверхности, расположенных в узлах регулярной сети с шагом 1° . Таким образом, есть обширный набор данных для всей поверхности Земли. В этом случае, для каждого узла сетки определяются соотношения значений ежегодной продукции и солнечной радиации. Представление продукции в виде «от – до» можно трактовать как реализацию неблагоприятных (при минимальных значениях интервала) и благоприятных (при максимальных значениях) гидротермических условий экосистемами. Точечная локализация с такой детальностью позволяет создавать цифровые модели показателей.

Результаты исследований

Одним из первых атласов, где был реализован подход к отражению комплексных продукционных показателей, стал атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (Атлас..., 2004). Концепция атласа предусматривала создание тематических карт на разных иерархических уровнях (мир – Россия – ХМАО) с увеличением детальности карт и количества сюжетов при переходе к более крупному масштабу. Соответственно, продукционные процессы наиболее полно показаны на картах округа. В качестве источников информации послужили база данных «Продуктивность экосистем Северной Евразии» и детальная карта растительности округа. Созданная серия карт позволила дать полноценную характеристику продукционных процессов.

Серия включает четыре карты: фитомасса (т/га), продукция (т/га в год), время накопления фитомассы (годы) и продукционный потенциал экосистем (в условных единицах, от минимально возможного на данной территории). Продукционный потенциал ранжирован относительно минимальных значений, встречающихся на территории ХМАО – это гольцово-тундровые сообщества. Продукционные характеристики рассчитаны для восстановленной растительности. Наличие информации о степени нарушенности экосистем позволило дать на карте характеристику изменения величины продукционного потенциала. В ХМАО отмечается довольно большое разнообразие растительного покрова – гольцы на вершинах горных хребтов, лиственнично-еловые зеленомошные редколесья лесотундры, разнообразные таёжные леса и их производные, болота и пойменная растительность. В соответствии с таким разнообразием типов экосистем различаются и показатели продукционных процессов: запас фитомассы разнится на порядок (от менее 25 т/га до более 200 т/га в год); продукция изменяется более чем вдвое (от менее 4 т/га в год до более 8 т/га в год). Продукционный потенциал на территории ХМАО достаточно высокий в лесах разных типов и в пойменных экосистемах. Болотные экосистемы без древесной растительности отличаются низкими значениями продукционного потенциала. Время накопления фитомассы колеблется от менее <10 до >30 лет, что также отражает стратегию экосистем региона.

Изменения продукционного потенциала зональных комплексов ХМАО показали, что в результате уничтожения коренной раститель-

ности и замещения природных комплексов новыми антропогенно трансформированными экосистемами продукционный потенциал на территории частично снизился на 20–50% – как в высокопродуктивных, так и в низкопродуктивных экосистемах. На 2% территории ХМАО снижение продукционного потенциала составляет менее 50%, а примерно на 9% территории – на 50% и более. В целом большая часть экосистем региона в настоящее время испытывает антропогенные нагрузки, но пока с ними справляется. Однако локальные очаги техногенного воздействия смыкаются (что на карте показано штриховкой разной интенсивности), образуя источники экологической напряжённости регионального масштаба. Учитывая перспективы освоения нефтяных месторождений и связанные с ними нарушения растительного и почвенного покрова, загрязнения воздуха, вод и т.п., можно предполагать, что экосистемы потеряют свою устойчивость и не смогут в перспективе компенсировать потери в продукционных процессах.

Новые подходы в экологическом картографировании и накопленная экологическая информация за два десятилетия реализованы в картах, разработанных для нового издания «Экологического атласа России» (2017). Они помещаются в разделе «Природные условия формирования экологической обстановки». Раздел включает аналитические и интегральные карты, отражающие распространение ландшафтов и их экологический потенциал, климатические карты, карты гидрологических условий, карты вечной мерзлоты, почвенные карты, карты биоразнообразия и растительности. Карты продукционных процессов экосистем масштаба 1:30 000 000 образуют подраздел «Эффективность продукционных процессов экосистем», состоящий из четырёх карт и текста, рассказывающего о продукционном потенциале экосистем (в процентах от максимально возможного значения для территории России), эффективности использования ФАР растительным покровом, в том числе при благоприятных и неблагоприятных гидротермических условиях (в процентах).

Продукционный потенциал ранжирован относительно максимально возможных значений для территории России, которые отмечаются в горных и предгорных дубовых и дубово-грабовых лесах Северного Кавказа. На территории России самые высокие значения продукционного потенциала характерны для равнинных широколиственных лесов, европейской лесостепи, которые в совокупности занимают менее 1% (рис. 1). Более половины территории России от-

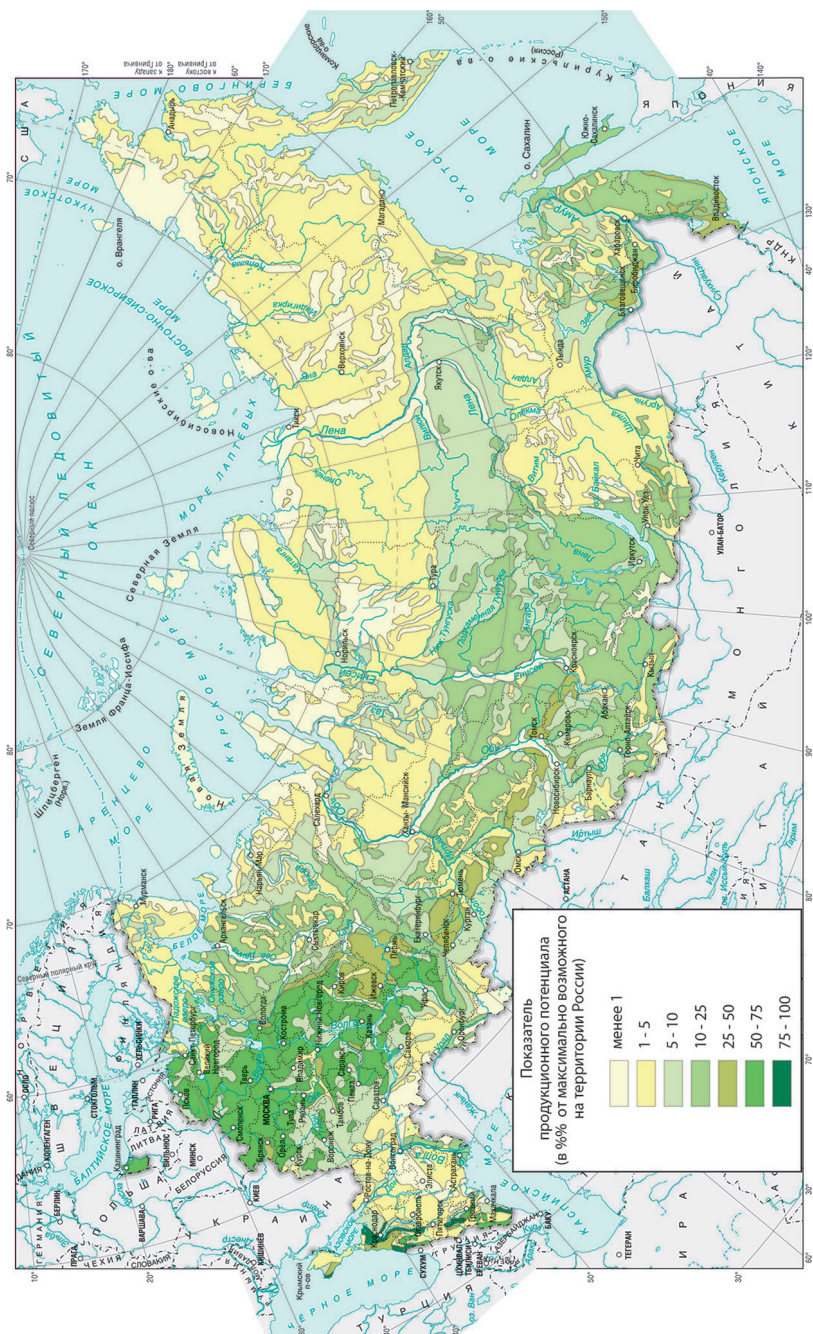


Рис. 1. Продукционный потенциал наземных экосистем (в процентах от максимально возможного на территории России)

носятся к экосистемам с минимальными значениями продукционного потенциала (менее 10% от максимально возможной).

Значение $KПД_{ФАР}$ естественной растительности меняется на территории России от менее 0,1 до 2,2%, что коррелирует с показателями $KПД_{ФАР}$ сельскохозяйственных культур. Уничтожение коренной растительности и замена её малопродуктивными вторичными сообществами ведёт к снижению $KПД_{ФАР}$. При анализе распределения $KПД_{ФАР}$ по территории России видно (рис. 2), что минимальные значения этого показателя приурочены к природным зонам с экстремальными гидротермическими условиями – полярным пустыням и опустыненным степям. Максимум наблюдается в степях и лесостепях, где складываются оптимальные для продукционных процессов гидротермальные условия. Особое значение для прогноза развития экосистем имеет диапазон величин $KПД_{ФАР}$ одного и того же выдела растительности, рассчитанный для благоприятных и неблагоприятных гидротермических условий. Величины могут различаться почти в два раза в зависимости от метеорологических особенностей конкретного рассматриваемого периода.

Заключение

Дальнейшее развитие подходов к оценке и картографированию продукционных процессов, вероятно, связано с использованием данных дистанционного зондирования: разнообразные вегетационные индексы позволяют перейти к определению продукционных характеристик наземной растительности. Сравнение количественной информации о продукционных процессах естественной и восстановленной растительности позволит проанализировать изменения (и впоследствии оценить устойчивость) растительного покрова, связанные с изменениями климата и типа природопользования на различных пространственных уровнях.

Перспективно использование информации о продукционных процессах (прежде всего продукции) для оценки экосистемных услуг (Тишков, 2005). К настоящему времени наиболее разработана стоимостная оценка экосистемных услуг лесных и болотных экосистем (рис. 3). Показатели ежегодной продукции позволяют оценивать как прямые ресурсы (древесина, дикоросы), так и косвенные – прежде всего депонирование углерода,

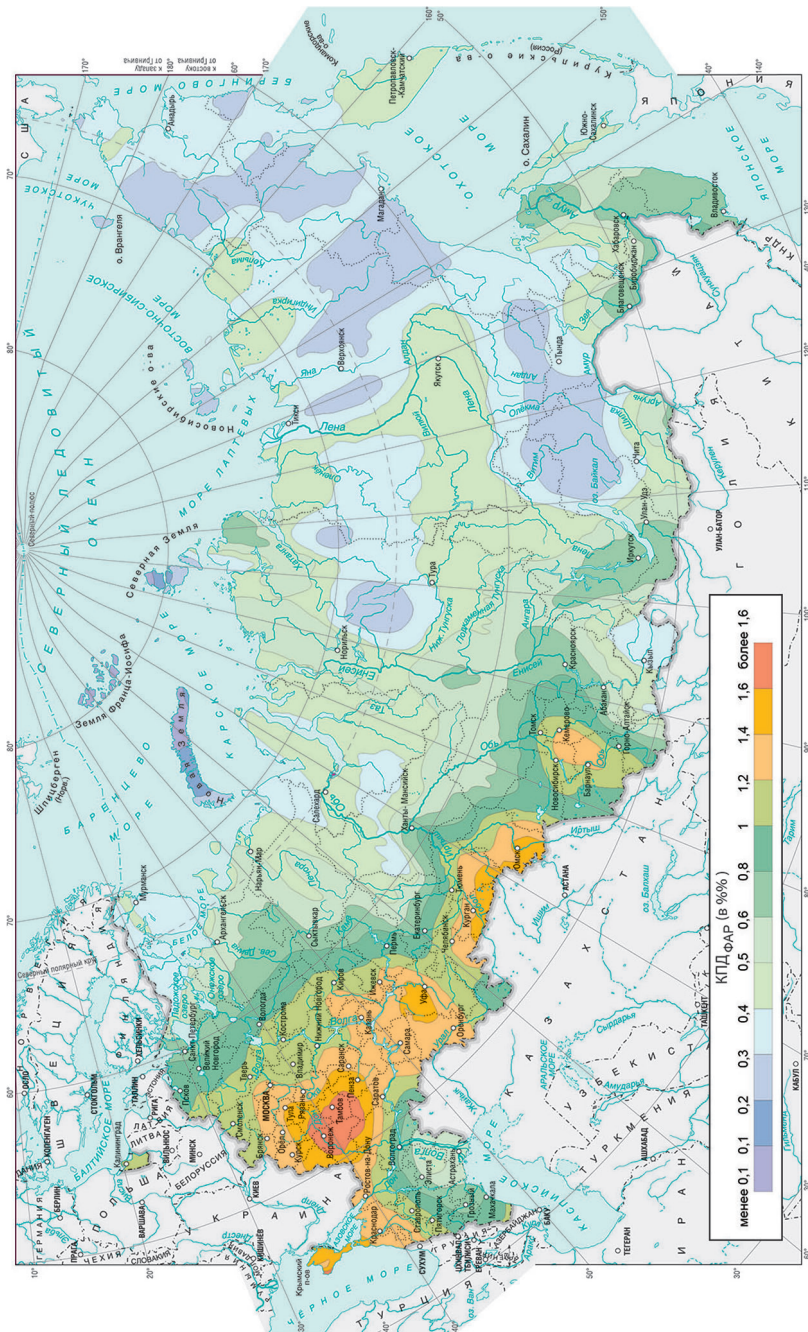


Рис. 2. Эффективность использования растительным покровом радиации через фотосинтез

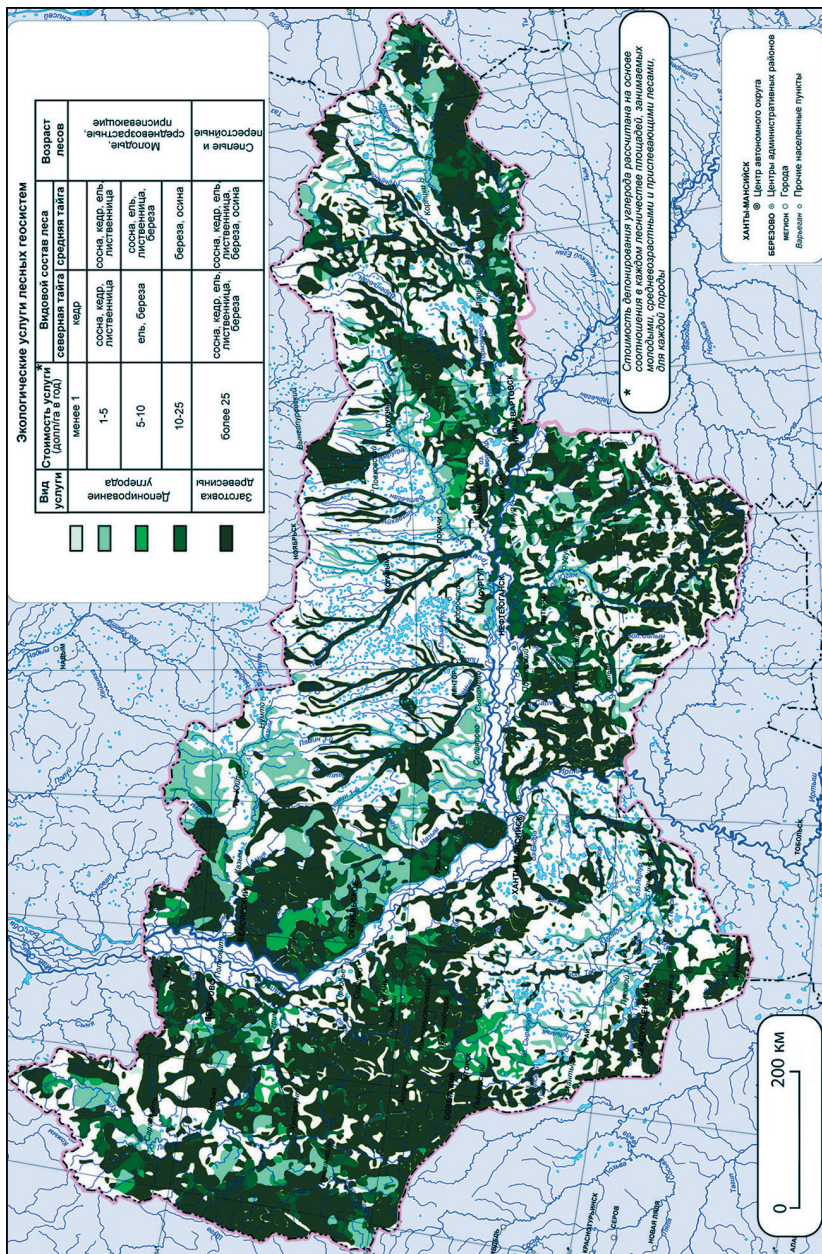


Рис. 3. Экологические услуги лесных геосистем Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

величина которого определяется с помощью конверсионных коэффициентов на основе данных о значениях продукции (Красовская, 2008).

Показатели продукционного потенциала и эффективности использования растительным покровом солнечной радиации позволят прогнозировать процессы создания органического вещества в условиях изменения климата, антропогенного воздействия и дают важную информацию при оценке экосистемных услуг. На основе этой информации можно выявить причины, обусловившие то или иное функционирование экосистемы, прогнозировать её дальнейшее развитие и рекомендовать природоохранные, рекультивационные и другие мероприятия, определить наиболее «активные» в биосферных процессах экосистемы и оценить их устойчивость. Процесс создания карт на основе комплексных показателей целесообразно оптимизировать с помощью геоинформационных технологий, которые могут вывести на разработку новых комплексных показателей картографирования. Такие карты в совокупности с геоинформационными технологиями и данными дистанционного зондирования расширяют возможности изучения динамики функционирования экосистем.

Литература

- Атлас Алтайского края. Т. 1. М.-Барнаул: ГУГК, 1978. 222 с.
- Атлас «Байкал». Иркутск: Роскартография, 1993. 160 с.
- Атлас биологического разнообразия лесов Европейской части России и сопредельных территорий. М.: ПАИМС, 1996. 144 с.
- Атлас Иркутской области. М. –Иркутск: ГУГК, 1962. 182 с.
- Атлас «Окружающая среда и здоровье населения России». Ред. М. Фешбах. М.: ПАИМС, 1995. 448 с.
- Атлас «Природа и ресурсы Земли». II том. Ed. Hölzel. М. –Вена, 1998. 196 с.
- Атлас Тюменской области. Т. 1. М. –Тюмень: ГУГК, 1971. 27 л.
- Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Том II. Природа и экология. М.–Ханты-Мансийск, 2004. 152 с.
- База данных «Продуктивность экосистем Северной Евразии». Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.biodat.ru/db/prod/index.htm> (дата обращения 27.04.2017).
- Базилевич Н.И. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. М.: Наука, 1993. 293 с.
- Базилевич Н.И., Гребенищikov О.С., Тишков А.А. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем. М.: Наука, 1986. 296 с.

- Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Титлянова А.А. Левин Ф.И., Медведев Л.В., Нечаева Н.Т. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 185 с.
- Белов Л.В., Соколова Л.П. Картографирование растительности в решении экологических проблем юга Восточной Сибири: итоги и перспективы // Геоботаническое картографирование. СПб., 2013. С. 3–31.
- Большой Советский Атлас Мира. Т. 1. М.: 1937. 83 с.
- Виноградов В.Г., Мартынов А.С., Тишков А.А. Первичная продуктивность растительного покрова // Состояние биологических ресурсов и биоразнообразия России и ближнего зарубежья (1988–1993 гг.): Приложение к Государственному докладу о состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 1993 г. М., 1994. С. 9–10.
- Волкова Е.А., Федорова И.Т. Карта экологических функций растительного покрова России // Геоботаническое картографирование 1993. СПб., 1995. С. 51–57.
- Геоботаническая карта европейской части СССР / Под ред. Н.И. Кузнецова. 1:1 050 000. Л., 1927–1932.
- Геоботаническая карта СССР / Под ред. В.Б. Сочавы и Е.М. Лавренко. 1:4 000 000. М.: 1954.
- Голубев Г.Н. Геоэкология. М.: ГЕОС, 1999. 338 с.
- Дьяконов К.Н., Шиловцева О.А., Балдина Е.А. Распределение ФАР на территории Восточно-Европейской равнины // Вест. МГУ. Сер. 5: География. 2004. № 1. С. 11–19.
- Карта растительности европейской части СССР / Под ред. Н.И. Кузнецова. 1:4 000 000. Л.: 1928.
- Карта растительности СССР / Под ред. Е.М. Лавренко. 1:5 000 000. Л., 1939.
- Карта современного растительного покрова Московской области / Под ред. В.В. АLEXИНА. 1:1 500 000. М., 1934.
- Козлова Г.И. Некоторые методические вопросы геоботанического районирования на основе картирования таежной территории // Геоботаническое картографирование. Л., 1966. С. 48–55.
- Красовская Т.М. Природопользование Севера России. М.: ЛКИ, 2008. 272 с.
- Національний атлас України. Київ: ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.
- Перельман А.И. Геохимия биосферы. М.: Наука, 1973. 156 с.
- Природные ресурсы и экология России. Федеральный атлас. М., 2003. 276 с.
- Разработка методов, технологий и систем дистанционного мониторинга состояния окружающей среды и антропогенных объектов: Проекты: Карты. Институт космических исследований РАН. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=317> (дата обращения 27.04.2017).
- Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1967. 143 с.
- Снытко В.А., Червяков В.А., Мартынова Г.Н., Нефедьева Л.Г. Опыт и перспективы изучения фитомассы с помощью серии карт полей // Геоботаническое картографирование. Л., 1977. С. 33–41.

- Сочава В.Б. Растительный покров на тематических картах. Новосибирск: Наука, 1979. 190 с.
- Сочава В.Б., Куминова А.В. Крупномасштабное картографирование растительности. Новосибирск, 1970. 172 с.
- Титлянова А.А., Базилевич Н.И., Снытко В.А., Дубынина С.С., Копотева Т.А., Магомедова Л.Н., Миронычева-Токарева Н.П., Нефедьева Л.Г., Семенюк Н.В., Тишков А.А., Тран Ти, Хакимзянова Ф.И., Шатохина Н.Г., Шмакова Е.И. Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Новосибирск: Наука, 1988. 134 с.
- Тишков А.А. Биосферные функции природных экосистем России. М.: Наука, 2005. 309 с.
- Физико-географический атлас мира. М.: ГУГК, 1964. 298 с.
- Физическая география Мирового океана (Серия: «География Мирового океана»). Л.: Наука, 1980. 362 с.
- Экологический атлас России. М.: ГлобалГеоКонтент, 2017. 350 с.

N.I. Tulskaaya, E.I. Golubeva, T.V. Kotova

CARTOGRAPHICAL METHODS FOR VISUALIZATION OF PRODUCTIVE PROCESSES IN TERRESTRIAL ECOSYSTEMS

Since the middle of the last century, when mapping vegetation subject plots of the created maps gradually began to extend. Now much attention is paid to a study of environmental problems and opportunities of their mapping. The spatial analysis of production processes indices distribution, including annual production, phytomass and a mortmass, gives the chance to state current vegetable cover and its ecosystem functions, that reflect dynamic processes in the biosphere, depending on assess of mentioned indices. For a cumulative assessment that phytomass and production contribute to a production processes we propose to use complex indices: production potential, speed of phytomass accumulation, efficiency of photosynthetically active radiation use. New data sources and methods of their processing allow to receive more detail spatial and temporal patterns of these processes. Future prospects of production processes mapping are connected with the researches on vegetable cover alteration in a view of climate change and land use transformation at different spatial levels.

А.Р. Аляутдинов, Л.А. Ушакова, С.В. Чистов

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ВОДОЁМОВ

Введение

Эколого-географические исследования очень не просты, так как включают изучение геосистем разного территориального уровня, их изменений в пространстве и во времени под воздействием природных и антропогенных факторов, а также специфики взаимодействия друг с другом. Основная цель эколого-географических исследований – выявление закономерностей в территориальной дифференциации географической среды и комплексная оценка её экологического состояния (Исаченко, 2003). В наше время объективная и комплексная оценка экологического состояния геосистемы невозможна без использования всей совокупности геоинформационных технологий, которые позволяют определить естественный экологический фон, выявить основные факторы и характер их воздействия на геосистему, в конечном итоге, прогнозировать изменение геосистемы и оценить влияние этих изменений на человека.

Специфический круг задач эколого-географических исследований водных объектов решается методами картографического моделирования в процессе подготовки материалов обоснования инвестиций для водных проектов, в особенности в части оценки их воздействия на окружающую среду (ОВОС).

Вопросы информационной обеспеченности эколого-географических исследований остаются одними из самых острых, несмотря на использование программно-вычислительных комплексов, ориентированных на изучение природной среды, развитие компьютерных сетей, создание инфраструктур разного территориального уровня и различной тематической направленности, а также центров сбора и обработки данных, которые используются в качестве основных источников пространственной информации. Вдобавок не существует чёткого определения понятия информационной обеспеченности эколого-географических исследований.

Теоретические представления об оценке экологического состояния водных объектов и методология исследований

Фундаментом оценки информационной обеспеченности эколого-географических исследований служат географические методы и подходы познания геосистемы, опирающиеся на принципы комплексности и системности. Предлагается рассматривать информационную обеспеченность как интегральный показатель, характеризующий соответствие исходной информации, методов и технологий обработки и анализа исходных пространственных данных, достаточных для качественного решения задачи оценки экологического состояния водных объектов различного типа, класса, географической приуроченности и т.д.

Степень информационной обеспеченности эколого-географических исследований играет ключевую роль при оценке экологического состояния геосистемы. Недостаток исходной информации может привести к ошибкам при расчёте интегральных совокупных индексов, характеризующих степень загрязнённости, и в конечном итоге, к неправильной интерпретации экологического состояния исследуемого объекта. Показатель, характеризующий идеальную информационную обеспеченность, всегда будет отличаться от реального показателя, характеризующего информационную обеспеченность исследования. Разница в этих показателях и определяет качество таких работ.

Эколого-географические исследования предъявляют высокие требования к задаче информационного обеспечения. Здесь можно отметить следующие специфические свойства подобных исследований:

- большое число показателей и параметров, участвующих в анализе экологической ситуации, поскольку геосистема представляет собой архисложную модель взаимодействия разных факторов, определяющих её функционирование;
- использование большого числа исходных данных разной тематической направленности подразумевает применение системных методов и технологий пространственного и тематического согласования, которые базируются на системе географической иерархии и определяют взаимодействие разных компонентов геосистемы;
- экологические исследования невозможны без использования показателей, определяющих состояние геосистемы во времени. Долгосрочные показатели позволяют понять естественное состояние геосистемы и динамику его изменений;

- эколого-географические исследования требуют учёта неоднородного покрытия исследуемой территории исходными данными, особенно при выявлении отдельных территориальных единиц со схожими экологическими показателями;
- при комплексном анализе экологической ситуации изучаемой территории необходимо также правильно согласовывать результаты применения разных методик определения показателей загрязнения природной среды.

Исходная информация, используемая при эколого-географических исследованиях, весьма неоднородна. В общем виде источники экологической информации классифицируются по следующим позициям (Божилина и др., 1999; Чистов, 1997; Чистов, Флоринский, 1997): характер источника информации (картографическая, аэрокосмическая, статистическая, описательная); период временного охвата (долгосрочная, среднесрочная, текущая, сезонная, оперативная, экстренная); объект «привязки» информации; степень полноты распространения по территории; характер объектов «привязки» информации; ведомственная принадлежность (материалы государственных органов, предприятий, научно-исследовательских учреждений, коммерческих организаций); научные методы и технические приёмы, использованные при получении информации (дистанционное зондирование, экспедиционные и стационарные исследования загрязнённости компонентов природной среды, состояние биоиндикаторов).

Представленная выше классификация наиболее точно отражает характеристики исходной информации, необходимой для проведения эколого-географических исследований. Однако эту классификацию следует расширить, добавив ещё несколько признаков.

Специфика объектов эколого-географических исследований оказывает существенное влияние на информационное обеспечение. Например, водные объекты более динамичны, и поэтому моделирование процессов, определяющих их развитие и изменения в пространстве и во времени, требует применения большего количества переменных и, соответственно, большего объёма исходной информации.

Один из дополнительных важных источников информации при проведении эколого-географических исследований – институционально-правовой признак, определяющий легитимность и правомочность использования данных, их адекватность, ответственность за качество предоставляемых данных. Это касается в первую очередь государ-

ственных служб, в обязанности которых входят сбор и обработка информации о природной среде в рамках программ государственного мониторинга. Перевод информационного процесса в правовое русло повышает качество исследований, накладывает на участников процесса обязанности и обеспечивает права всех заинтересованных сторон. Правовой признак – одно из главных условий создания единого информационного пространства, в котором обеспечивается доступ и использование пространственной информации. Проведение любых эколого-географических исследований регламентируется набором руководящих отраслевых документов, которые определяют порядок проведения работ, используемые методики, необходимое оборудование и ряд других параметров, которые характеризуют качество выполняемых исследований.

В качестве примера приведём руководящие документа Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: «Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям», «Методические указания по комплексной оценке степени загрязнённости поверхностных вод по гидрохимическим показателям РД 52.24.643-2002». Открытость и доступность методических документов позволяют проводить согласование результатов исследований, полученных разными ведомствами.

Другой важный признак, определяющий информационную обеспеченность, – доступность информации, что напрямую связано с межведомственными барьерами и отраслевыми руководящими документами, влияющими на процесс информационного обмена в условиях рыночной экономики. Существенная часть исходной информации, необходимой при проведении эколого-географических исследований, сейчас представляет собой коммерческую информацию, закрытую для общего доступа и используемую исключительно в целях обладателя информации. Государственные поставщики пространственных данных, ответственные за сбор и предоставление информации, необходимой для проведения научных и изыскательских работ в рамках государственных программ мониторинга, не выдерживают конкуренции с коммерческими организациями, проводящими те же работы. Доступность информации напрямую связана с созданием инфраструктур пространственных данных, целевых тематических информационных систем, обеспечивающих по-

иск необходимой пространственной информации и базирующихся на системе метаинформации.

Постоянно растущий спрос на пространственную информацию, быстрорастущий рынок геоинформационных технологий, увеличение объёмов разнородных тематических данных определили современные тенденции развития и использования информационных сервисов, разрабатываемых для объектов разного территориального охвата в различных целях, в том числе направленных на информационное обеспечение эколого-географических исследований (Аляутдинов, Калинин, 2015; Лурье и др., 2011).

Многие годы в СССР шло создание целостной системы обеспечения режимной гидрометеорологической и гидрохимической информации о хозяйственной деятельности на морях. Эти работы базировались на наблюдениях гидрометеостанций и постов, на наблюдениях в морях на «вековых» разрезах (на 14 морях СССР было определено 49 разрезов с 582 гидрологическими станциями); на системе сезонных наблюдений за загрязнением (574 локальных акватории с 707 станциями отбора проб для анализа); на системе наблюдений за морскими льдами и за колебаниями уровня в связи с предупреждениями о цунами. Развивались специализированные наблюдения за местами сброса грунтов в море и распространением плёнок нефти.

Обобщение этого огромного потока информации включено в 10-томную серию монографий «Гидрометеорология и гидрохимия морей». Она включает тома по Баренцеву (1990); Белому (1991); Балтийскому (1992); Чёрному (1991); Азовскому (1991); Каспийскому (1992); Аральскому (1990); Японскому, Охотскому (1998) и Берингову (1999) морям. В каждый том входят выпуски «Гидрометеорологические условия», «Гидрохимический условия», «Океанологические основы формирования биопродуктивности». Эти издания содержат огромный информационный и исторический материал по морям России (Проект... , 1990–1999; Суетова, 2002).

Один из известных современных отечественных проектов, направленных на сбор информации, – это проект ЕСИМО (Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане, <http://www.esimo.ru>) (Вязилов и др., 2013). ЕСИМО отвечает за интеграцию разнородной и распределённой информации об обстановке в Мировом океане; обеспечивает федеральные, региональные и местные органы Российской Федерации, ведущие морскую деятельность, комплексной информацией об обстановке в Мировом океане; взаимодействует с за-

рубежными информационными системами морской направленности и обеспечивает доступ к их ресурсам.

Для обеспечения доступа к разнородным исходным данным, с целью повышения степени информационного обеспечения эколого-географических исследований, разрабатываются специализированные базы пространственных данных. Основной технологией, используемой при разработке подобных баз данных, служит использование компьютерных сетей, предоставляющих возможности поиска и доставки пространственной геоинформации. Например, создание подобной интерактивной базы знаний Каспийского региона предусматривает решение двух основных задач: а) разработку структуры и содержания интерактивной базы знаний региона, отражающей научную, библиографическую, социально-экономическую и картографическую информацию; б) разработку и создание интерактивной системы управления информационными ресурсами (содержимым базы знаний) специально создаваемого WWW-сервера проекта CaspInfo, обеспечивающей обмен и накопление информации в каталогах метаданных.

Интерактивная база знаний структурно организована в четырёх отдельных базах данных (каталогах метаданных): "Учёные", "Библиография", "Социально-экономические данные", "Картографические материалы", встроенные в структуру CaspInfo. При разработке баз данных основной упор делался на полноту информации, интерактивность доступа к базам данных, удобство при занесении информации, лёгкость поиска необходимой информации. Часть этих задач была реализована посредством разработки пользовательского интерфейса, другая часть – посредством разработки оригинального программного обеспечения: WEB-приложения.

С точки зрения функциональности интерактивная база данных предоставляет пользователям в режиме реального времени следующие сервисы: визуализация баз метаданных, поиск–фильтрация–сортировка необходимой информации; визуализация детальной информации выбранного объекта; занесение информации об объектах с использованием системы управления содержимым базы данных. Для базы "Картографические материалы" предусмотрен специфический сервис отображения эскиза картографического источника посредством реализации технологии WMS – Web Map Service, а для базы "Социально-экономические данные" обеспечивается возможность сохранения необходимой информации на локальном диске пользователя.

Результаты исследований

На протяжении многих лет кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова принимала активное участие в исследованиях, направленных на оценку экологического состояния геосистем разного уровня, разработку и внедрение разных методов пространственного и временного экологического анализа. В качестве известных исследований можно привести проект Black Sea GIS. Этот проект, проводимый под эгидой ООН и Комиссии по защите Чёрного моря, в конце 1990-х годов стал одним из первых проектов интеграции разнородной информации, характеризующей экологическое состояние Черноморского региона, в единую систему (Берлянт и др., 1997). В эти годы и в начале 2000-х годов на кафедре разрабатывалась методика геоинформационного картографирования морей. Например, для комплексной оценки экологического состояния морей Арктики составлена серия эколого-географических карт, отражающих природные особенности восточного и западного секторов Арктики, основные источники поступления загрязняющих веществ и их распределения в Арктическом бассейне. Отображено распределение основных токсикантов, поступающих в моря Арктики: тяжёлых металлов, нефтепродуктов, пестицидов, детергентов, оксидов азота и серы, взвешенных веществ, радиоактивных элементов (Суетова, Ушакова, 2005; Суетова и др., 2006).

В качестве современных примеров можно привести участие кафедры в международных проектах европейского сотрудничества по созданию научных инфраструктур Чёрного моря Upgrade Black Sea Scene и Каспийского моря CaspInfo (Аляутдинов, 2015; Лурье и др., 2011). Среди отечественных исследований можно отметить участие кафедры в исследовании, проводимом совместно с Государственным океанографическим институтом имени Н.Н. Зубова по оценке экологического состояния восточной части Финского залива и Невской губы по данным государственного мониторинга (Коршенко и др., 2016).

Совместно со специалистами других подразделений географического факультета и подразделений Совета по изучению производительных сил (СОПС) было организовано участие в разработках обоснования инвестиций по созданию крупных транспортных артерий. Совместные исследования проведены для проектов ОВОС в проливе Невельского, где планируется организация постоянного перехода с

материковой части на о. Сахалин, а также в Керченском проливе для соединения Крыма с Краснодарским краем (Афанасьев и др., 2008, 2015 а, б; Богатов и др., 2002; Чистов, Игнатов, 2015). В обоих случаях создавались серии карт с рекомендациями по решению экологических проблем не только побережий, но и акваторий проливов. Были определены и эколого-географические задачи по выбору обоснованных вариантов, как по размещению, так и по инженерно-техническим решениям, минимизирующим экологические потери при обеспечении необходимых условий безаварийной работы создаваемых систем сооружений. Решению эколого-географических задач предшествует создание ряда тематических карт, на основе которых создаются оценки экологических последствий от реализации предлагаемых вариантов.

Одним из основных методов эколого-географических исследований служит картографический метод – и при подготовке необходимых материалов в качестве отдельных компонентов моделирования, и на заключительном этапе при отображении результатов исследований. Создание крупных транспортных переходов через водные объекты предполагает колоссальные объёмы земляных работ и сооружение различных конструкций на берегах и в акваториях проливов, которые приводят к существенным экологическим последствиям. Происходят изменения динамических режимов морской среды в проливах, а это приводит, с одной стороны, к переформированию условий осадконакопления, а с другой, к развитию неблагоприятных параметров среды обитания морских организмов. При этом меняются гидрохимические параметры морской воды в проливах не только в непосредственной зоне сооружения транспортных переходов, но и в близлежащих акваториях. Подобные первичные изменения и связанные с ними последствия строительства и последующей эксплуатации транспортных объектов снижают видовое разнообразие и численность гидробионтов, в том числе и промысловых видов, активизацию неблагоприятных природных процессов, воздействующих и на инженерные объекты.

Для подобных разработок особую роль в качестве источников информации приобретают навигационные карты и космические снимки. При этом первые позволяют строить модели изменений берегов и морского дна на основе предварительно созданных цифровых моделей рельефа. Так, для Керченского пролива (с 1928 по 1998 г.) на таких картографических моделях нашли своё отражение акватории с наметившимися процессами аккумуляции или углубления дна, как в

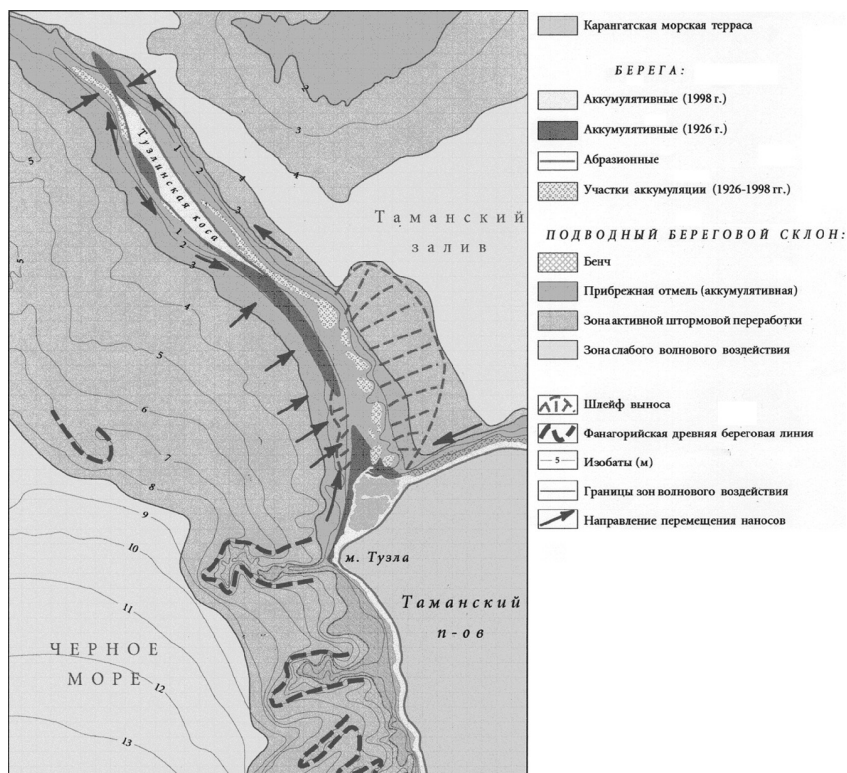


Рис. 1. Морфология и динамика острова-косы Тузла с 1926 по 1998 г. (Чистов, Игнатов, 2015)

акватории Черного моря, так и в Таманском заливе. Ситуация, представленная на рис. 1, существенно поменялась после сооружения дамбы с Таманского полуострова к косе Тузла, что хорошо заметно на космоснимке за 2004 г., когда строительство дамбы подходило к завершению. Это привело к резким изменениям гидродинамических условий и сказалось в заметном сокращении юго-восточной оконечности Тузлы и формировании акваторий с большим содержанием мутьевого материала и изменением характера и площади шлейфа выноса в Таманском заливе (рис. 2).

Как мы уже подчёркивали, на степень информационной обеспеченности эколого-географических исследований влияет согласование разных методов анализа экологического состояния исследуемого объекта. При проведении исследований гидрохимического состо-



Рис. 2. Формирование особых гидрологических условий после завершения строительства основной части дамбы от Таманского полуострова до острова-косы Тузла (космический снимок, октябрь 2004 г.)

яния вод восточной части Финского залива и Невской губы было решено использовать метод оценки уровня эвтрофикации E-TRIX. Этот метод часто используется в программах государственного мониторинга состояния природной среды в морях Европейского Союза, в особенности в рамках ХЕЛКОМ (Хельсинская комиссия по защите Балтийского моря). Универсального метода оценки уровня эвтрофикации (трофности) морских вод до сих пор не существует. Каждое подобное исследование предполагает субъективный авторский подход, обычно связанный с выбором показателей и их количеством при расчётах различных экологических индексов. Обычно

главное ограничение всех предлагаемых методов оценки связано с количеством измеряемых гидрохимических и биологических параметров и показателей морской среды.

Для оценки уровня эвтрофикации морских вод в последние годы широко используется индекс трофности вод E-TRIX (Vollenveider, 1998, Moncheva, 2000). Этот индекс представляет собой интегральный комплексный показатель, который связывает характеристики потенциального уровня первичной продукции фитопланктона (содержание фотосинтетических пигментов, в основном хлорофилла «а») и концентрацию необходимых для развития микроводорослей питательных биогенных веществ (соединения азота, фосфора и кремния, последнее для строительства стенок клеток диатомовых водорослей).

В расчётную формулу индекса E-TRIX входят следующие показатели: концентрация хлорофилла «а» как аналог биомассы фитопланктона; отклонение насыщенности кислорода от 100% как индикатор соотношения сложного совокупного механизма физико-химико-биологических процессов, отражающих, в частности, соотношение интенсивности первичной продукции органического вещества и его биохимического окисления; концентрация общего фосфора и минерального азота, или других форм биогенных элементов как показатель наличия в морской воде необходимого для развития фитопланктона количества питательных веществ

В расчётной формуле E-TRIX используются стандартные и наиболее часто измеряемые гидрохимические и гидробиологические характеристики морских вод:

$$E-TRIX = [\log(\text{Ch} \cdot \text{D}\% \text{O} \cdot \text{Nm} \cdot \text{Po}) + 1,5] / 1,2,$$

где Ch – концентрация хлорофилла «а», мкг/л; D%O – отклонение в абсолютных значениях растворенного кислорода от 100% насыщения; Nm – концентрация растворённых форм минерального азота, мкг/л; Po – концентрация общего фосфора, мкг/л.

Индекс E-TRIX изменяется в соответствии с уровнем эвтрофикации (трофности) вод в пределах от 0 до 10, а оценка категории трофности и состояния качества вод осуществляется по величине индекса (табл. 1). Для каждой станции государственной наблюдательной сети (ГСН) был рассчитан индекс E-TRIX. (рис. 3). В дальнейшем эти данные были использованы для составления серии эколого-географиче-

Таблица 1. Значения индексов E-TRIX

Значение E-TRIX	Уровень трофности	Качество вод	Характеристика качества вод
< 4	низкий	высокое	Высокая прозрачность вод, отсутствие аномалий цвета воды, отсутствие пресыщения и недосыщения растворенного кислорода.
4 - 5	средний	хорошее	Эпизодические случаи уменьшения прозрачности вод, аномалий цвета воды, гипоксии придонных вод.
5 - 6	высокий	посредственное	Низкая прозрачность вод, аномалии цвета воды, гипоксия придонных вод и эпизодические случаи аноксии.
> 6	очень высокий	плохое	Высокая мутность вод, обширные аномалии цвета воды, регулярная гипоксия на больших пространствах и частая аноксия придонных вод, гибель бентосных организмов.

Значения E-TRIX



Рис. 3. Рассчитанные для каждой станции государственной наблюдательной сети значения E-TRIX

ских карт, характеризующих гидрохимическое состояние восточной части Финского залива и Невской губы.

Итак, для оценки продуктивности морских акваторий применяется комплекс различных показателей: уровень первичной продукции, концентрация хлорофилла, содержание взвешенного органи-

ческого вещества и общего количества взвеси, биомасса различных видов планктона и др.

Помимо сети мониторинга, описанной выше, основными поставщиками исходной информации для картографической оценки продуктивности выступают, во-первых, экспедиционные исследования, специально организуемые для относительно небольших акваторий и содержащие сведения о распределении двух–трёх биопараметров; а во-вторых, экосистемные экспедиции, в программу которых входит контроль полного комплекса основных биотических и ряда абиотических характеристик морской среды (Востоков и др., 1999 а, б). Именно данные экосистемных исследований, несмотря на их относительную малочисленность, представляют наибольший интерес для разработки методики картографического моделирования продукционных параметров морских геосистем и создают предпосылки для дополнительного использования материалов космического зондирования.

Так, Институтом океанологии имени П.П. Ширшова РАН в период с 1978 по 1988 г. в акватории Чёрного моря было проведено множество экосистемных экспедиций. По этим материалам описаны особенности информационного обеспечения и создана серия карт, позволяющих провести первичный анализ распределения основных продукционных параметров и оценить достаточность имеющихся в распоряжении данных для применения картографических методов. Для таких параметров как первичная продукция, биомасса фитопланктона, взвешенный органический углерод, хлорофилл, характеризующихся высокой степенью обеспеченности, созданы изолинейные карты. Для показателей со средней и низкой обеспеченностью (биомассы зоопланктона, простейших и общая биомасса живых организмов, а также нитратный азот) построены карты с диаграммами по точкам наблюдения.

Полученные карты послужили базисом для районирования Чёрного моря по различным параметрам биологической продуктивности. Районы послужили основой для выделения эталонных участков, для которых по космическим снимкам за различные сезоны года определялись (по хорошо известным методикам) параметры концентраций хлорофилла. Применение картографических методов для сопряжённого анализа экспедиционных данных и результатов спутникового зондирования Чёрного моря позволило изучить основные закономерности пространственного распределения и сезонной динамики ключевых параметров биологической продуктивности (Востоков и др., 1999 а, б).

Заключение

Эколого-географические исследования – одни из самых сложных направлений современных географических исследований из-за большого количества факторов, влияющих на экологическое состояние исследуемого объекта. Степень информационной обеспеченности исследований определяется количеством и качеством исходной информации, а также методами и технологиями согласования разнородной информации.

Для разработки карт экологического состояния водных объектов необходимо использовать разнообразные информационные ресурсы, отличающиеся степенью регулярности (периодичности), относящиеся к сетевым наблюдениям или к данным, полученным в результате специальных экспедиционных исследований. Последние десятилетия всё большую значение приобретает использование материалов аэрокосмической съёмки. Совместное использование всего арсенала информационных источников позволяет наиболее адекватно оценивать экологическое состояние водных объектов, что способствует развитию картографических методов их анализа и отображения.

Литература

- Аляутдинов А.Р., Калинин И.В. Использование сетевых геоинформационных технологий в рамках проекта европейского сотрудничества Upgrade Black Sea Scene // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2015. № 2. С. 76–84.
- Афанасьев В.В., Игнатов Е.И., Чистов С.В. Морфология и динамика берегов и дна пролива Невельского района проектирования постоянного железнодорожного перехода. Смоленск, Маджента, 2008. 128 с.
- Афанасьев В.В., Игнатов Е.И., Чистов С.В., Ткаченко Н.Ф. Экологические проблемы строительства крупных транспортных переходов (на примере Невельского и Керченского проливов) // Использование и охрана природных ресурсов в России. М.: Изд-во НИА-Природа. № 4. 2015а. С. 55–59.
- Афанасьев В.В., Игнатов Е.И., Чистов С.В., Ткаченко Н.Ф. Экологические проблемы строительства крупных транспортных переходов (на примере Невельского и Керченского проливов) (Окончание) // Использование и охрана природных ресурсов в России. М.: Изд-во НИА-Природа. № 5 2015б. С. 51–57.
- Берлянт А.М., Мусин О.Р., Мамаев В.О., Аляутдинов А.Р. Международный проект UNDP: «ГИС Черное море» // Картография на рубеже тысячелетий. М.: Ин-т географии РАН, 1997. С. 445–457.

- Богатов А.П., Максимяк Р.В., Разбегин В.Н., Чистов С.В. Экологические аспекты проекта сооружения ж/д перехода через пролив Невельского // Материалы науч.-практич. конф. «Создание устойчивой транспортной связи о. Сахалин – материк». Южно-Сахалинск, 2002.
- Божилкина Е.А., Сваткова Т.Г., Чистов С.В. Эколого-географическое картографирование. М.: Изд-во МГУ, 1999. 84 с.
- Востоков С.В., Лисицын Б.Е., Чистов С.В. Картографирование параметров биопродуктивности Черного моря: информационное обеспечение, типы исходных данных // Геодезия и картография. 1999а. № 6. С. 31–35.
- Востоков С.В., Лисицын Б.Е., Чистов С.В. Информационное обеспечение исследований и картографирования параметров биологической продуктивности Черного моря // Геоинформатика/Geoinformatika. 1999б. № 1. С. 34–38.
- Вязилов Е.Д., Мельников Д.А., Чунаев Н.В. Информационно-аналитические системы для обработки информации о Мировом океане // Электронные Библиотеки. Электронные библиотеки <http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal>
- Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию. Учебное пособие. Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2003. 192 с.
- Коршенко А.Н., Аляутдинов А.Р., Ушакова Л.А. Моделирование и пространственный анализ гидрохимического состояния вод Невской губы // Материалы Междунар. конф. ИнтерКарто-ИнтерГИС – 22 «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата». Т. 1. Протвино, 2016. С. 120–127.
- Лурье И.К., Аляутдинов А.Р., Калинин И.В., Семин В.Н. Разработка интерактивной базы знаний о Каспийском регионе в рамках проекта европейского научного сотрудничества casrinfo // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2011. № 3. С. 46–51
- Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР: Аральское море, 1990; Баренцево море, 1990; Белое море, 1991; Чёрное море, 1991; Балтийское море, 1992; Каспийское море, 1992; Охотское и Японское моря, 1998; Берингово море, 1999. СПб: Гидрометеоиздат.
- Суетова И.А. Эколого-географическое картографирование Мирового океана: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 2002. 80 с.
- Суетова И.А., Ушакова Л.А. ГИС для изучения экологической обстановки окраинных и внутренних морей России // Материалы Междунар. конф. ИнтерКарто/ИнтерГИС-11: «Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт». Ставрополь–Донбай–Будапешт, 25 сентября – 3 октября 2005 г. С. 270–274.
- Суетова И.А., Ушакова Л.А., Косиков А.Г., Ян М.В. Создание серии карт загрязнения Арктического морского бассейна // Материалы Междунар. конф. Интеркарто/ИнтерГИС-12: «Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт». Т. 1. Калининград–Берлин, 2006. С. 271–276.
- Чистов С.В. Информационное обеспечение экологического картографирования на региональном уровне // Геоинформатика/Geoinformatika. 1997. № 2. С. 44–48.

Чистов С.В., Игнатов Е.И. Географические проблемы выбора трассы и сооружения постоянного транспортного перехода через Керченский пролив // Морские исследования и образование. Сер. IV. Междунар. науч.-практич. конф. 21–24 октября 2015 г. М.: Электронный ресурс. С. 496–500.

Чистов С.В., Флоринский И.В. Экологическая картография. (Экология России. Итоги науки и практики). М.: РЭФИА, 1997. 134 с.

Moncheva S. Eutrophication index ((E) TRIX) – an operational tool for the Black Sea costal water ecological quality assessment and monitoring. // The Black Sea ecological problems SCSEO. Odessa, 2000. P. 178–185.

Vollenweider R.A. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale turbidity and generalized water quality index // *Enviromentrics*. 1998. № 9. P. 329–357.

A.R. Alyautdinov, L.A. Ushakova, S.V. Chistov

INFORMATION SUPPORT OF ECOLOGICAL AND GEOGRAPHICAL RESEARCH AND MAPPING OF WATER BODIES

This article describes the main information resources using for developing ecological and thematic maps of water bodies of various types. Presentation of specific types of geographic information, indicating its practical use, is preceded by a review of theoretical concepts of the types of ecological information resources and particularity of information sources for water objects research. Also the article presents specific examples of the ecological researcher performed by the staff of the department of Cartography and Geoinformatics of M.V.Lomonosov Moscow State University. These examples demonstrate different types for accessing geographical and ecological information, the possibilities of implementation mathematical modeling, cartographic methods, the necessity of using geoinformation technologies for solving specific practical problems in the study of the ecological state of water objects.

А.Л. Энтин, С.М. Кошель, И.К. Лурье, Т.Е. Самсонов

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ДЛЯ ОЦЕНКИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА

Введение

Современные инструменты пространственного анализа позволяют использовать цифровые модели рельефа (ЦМР) в качестве исходных данных как для трёхмерного моделирования территорий, так и для создания производных моделей: водосборных бассейнов, сетей водоразделов и потенциальных водотоков, а также вычисления морфометрических параметров, характеризующих распределение поверхностного стока. Это направление цифрового анализа рельефа в зарубежной литературе обычно называется гидрологическим анализом (англ. *hydrological analysis*). Основными морфометрическими параметрами в рамках гидрологического анализа служат общая и удельная водосборная площадь; они имеют самостоятельную применимость, а также используются в качестве «отправной точки» для расчёта производных характеристик и различных индексов (например, топографического индекса влажности – TWI, или компонентов универсального уравнения смыва почвы – USLE).

Ключевая процедура в расчёте водосборной площади – трассировка потока (англ. *flow routing*), то есть моделирование течения воды вниз по склону между ячейками ЦМР (рис. 1). Разработано более десяти различных алгоритмов определения направлений стока, не считая их специфических модификаций. Эти алгоритмы различаются между собой в зависимости от используемых концепций моделирования стока или деталей процедур распределения потока.

Несмотря на наличие большого числа различных алгоритмов, при их описании отсутствует убедительное обоснование преимуществ одного над другим, и не выявлены факторы, позволяющие оценить достоверность результатов расчёта и их пригодность для различных задач. Предпринимаемые попытки верификации алгоритмов распределения потока – как путём анализа результатов их работы на абстрактных математических поверхностях, так и с помощью спе-

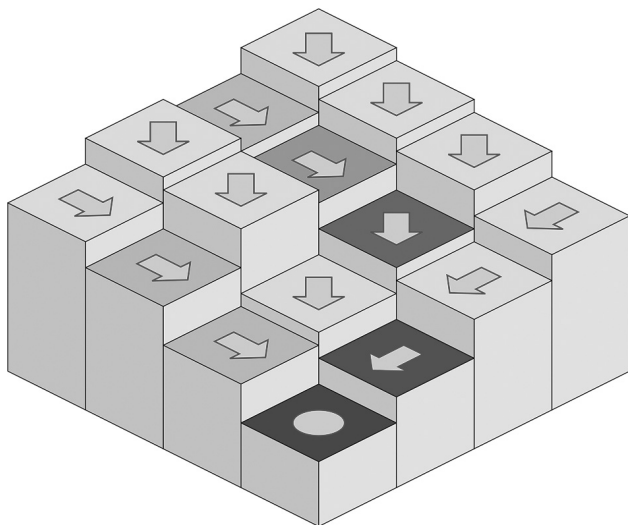


Рис. 1. Концепция стока «из ячейки в ячейку» в наиболее простом способе распределения потока

циально организованных полевых экспериментов – пока не позволяют существенно продвинуться в этом направлении. В связи с этим, задачи разработки оптимального алгоритма и обоснования его оптимальности сохраняют свою актуальность.

В статье предлагаются классификация алгоритмов трассировки потока и рекомендации по их применению. Изложен также авторский алгоритм расчёта общей водосборной площади, основанный на построении линий тока, выпускаемых из центров ячеек ЦМР; при этом линии тока имеют «естественную», не зависящую от положения ячеек раstra форму.

Классификация алгоритмов моделирования стока

Алгоритмы определения направлений стока обычно идентифицируются двумя способами: либо количеством направлений стока, которые могут быть рассмотрены для ячейки, либо итоговым результатом распределения. В рамках первого подхода выделяется две группы алгоритмов: *SFD* (*single flow direction*), рассчитывающие единственное направление стока для ячейки, и *MFD* (*multiple flow directions*), оперирующие несколькими направлениями стока (Кошель, Энтин, 2016; Wilson

et al., 2008; Wilson, 2012). Иногда отдельно выделяется группа *BFD* (*bi-flow direction*) – к ней относятся алгоритмы, которые распределяют сток между двумя соседними ячейками (Pan et al., 2004). По итоговому результату распределения потока алгоритмы разделяются на дисперсивные» (*dispersive*) и «недисперсивные» (*non-dispersive*) (Orlandini et al., 2003; Orlandini, Moretti, 2009; Paik, 2008; Shin, Paik, 2017). Группа недисперсивных алгоритмов практически полностью идентична SFD, дисперсивные алгоритмы объединяют подходы BFD и MFD.

Описанные группировки алгоритмических построений подходят для структурных описаний создаваемых моделей, но не способствуют оценке пригодности рассчитываемых параметров для решения практической задачи: разделение по количеству рассматриваемых направлений стока не позволяет делать обоснованных выводов о результате расчёта, а разделение алгоритмов на дисперсивные и недисперсивные никак не соотносится с процедурами расчёта. Кроме того, существует группа подходов, в которых основой для моделирования потока служит построение линий тока, а ячейки ЦМР выступают как вспомогательные конструкции.

Для повышения обоснованности выбора алгоритма и верификации результатов моделирования предлагается следующая иерархическая классификация алгоритмов трассировки потока. Поскольку базовым структурным элементом ЦМР служит ячейка, то описанные выше алгоритмы целесообразно разделять на «локальные», то есть использующие ячейку ЦМР в качестве основной единицы анализа и принимающие в расчёт некоторую ограниченную окрестность ячейки, и «региональные», в рамках которых моделирование опирается на построение линий тока, причём заранее неизвестно, какую форму имеют линии и как они соотносятся с ячейками ЦМР. Локальные алгоритмы разделяются на группы SFD (одно направление стока) и MFD (несколько направлений стока), описанные выше. Алгоритмы группы SFD дополнительно разделены на недисперсивные и дисперсивные; для группы MFD такое разделение не имеет смысла, поскольку все алгоритмы, входящие в эту группу, дисперсивны. Региональные алгоритмы подразделяются на алгоритмы, позволяющие строить линии тока, и алгоритмы, использующие «площадные» конструкции («полоса потока» алгоритма DEMON). Полная схема классификации с перечислением алгоритмов, рассмотренных в настоящей статье, представлена на рис. 2.

Рассмотрим алгоритмы, представленные на схеме, с точки зрения пригодности для расчетов гидрографических характеристик. Алгоритм

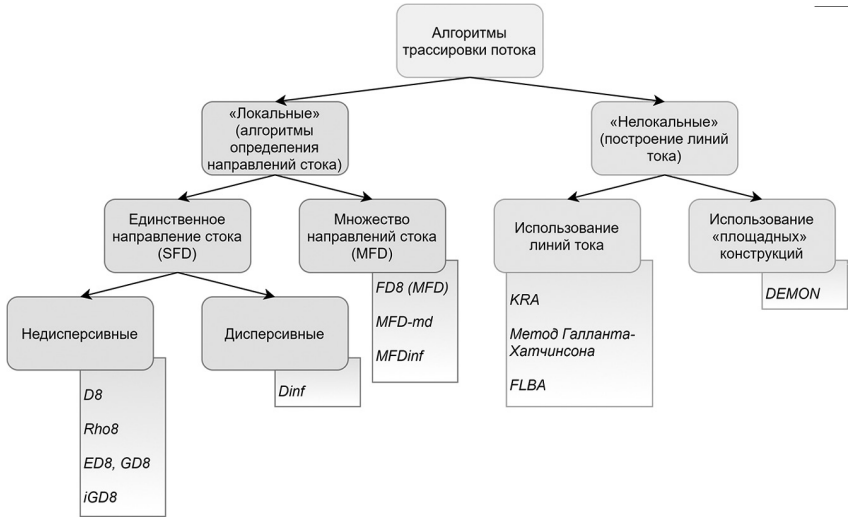


Рис. 2. Классификация алгоритмов трассировки потока

D8 (O’Callaghan, Mark, 1984) – один из широко распространённых алгоритмов расчёта направлений стока. Для произвольной ячейки ЦМР он рассматривает восемь направлений (отрезков), соединяющих её центр с центрами соседних ячеек, присваивает концам отрезка высоты соответствующих ячеек ЦМР и рассчитывает уклоны отрезков. Сток из рассматриваемой ячейки целиком направляется по линии наибольшего уклона, при этом азимут направления стока обязательно кратен 45° . Алгоритм D8 определяет для ячейки единственное направление стока и «недисперсивен». Это позволяет связать ячейки модели в единый граф («сеть потока»), который может быть затем использован для автоматического построения сети потенциальных водотоков или выделения границ бассейнов. Тем не менее, ограниченность алгоритма D8 с точки зрения доступных направлений стока в некоторых ситуациях приводит к недостоверному распределению потока – появлению сети параллельно текущих потоков с заметно отличающейся водосборной площадью («псевдо-талвеги»). Это побуждало разработчиков создавать более сложные подходы к моделированию распределения потока.

Алгоритмы Rho8, ED8 и GD8 можно рассматривать как модификации алгоритма D8. Алгоритм Rho8 (Fairfield, Leymarie, 1991) вычисляет уклоны так же, как и D8, но дополнительно умножает их на случайную величину, что приводит к изменению направлений стока и устранению

одной из проблем D8 – формированию сети «псевдо-талвегов», то есть протяжённых линейных участков с одинаковыми направлениями стока. Однако использование случайных величин приводит к недетерминированности расчёта с помощью алгоритма Rho8 – на одних и тех же данных будут получаться разные результаты. Алгоритмы ED8 и GD8 (Paik, 2008) «расширяют» окрестность расчёта направлений стока, используя дополнительные ячейки из области, лежащей ниже по склону. Для всех исследуемых ячеек рассчитываются направления стока по D8, которые впоследствии корректируются, если для группы ячеек выполняются некоторые условия. В результате для каждой ячейки определяется единственное направление стока из восьми доступных направлений, как и при использовании «простого» алгоритма D8.

Качественно иной подход применяется в алгоритме D_{∞} (Tarboton, 1997). Для определения направлений стока используются не отрезки, а треугольники, образованные центрами исследуемой (центральной) ячейки и двух её соседей, являющихся одновременно соседями друг друга. Азимут направления стока, рассчитанный по алгоритму D_{∞} , может принимать произвольное значение в пределах от 0° до 360° . Если направление получается кратным 45° , поток воды переносится в одну соседнюю ячейку; в противном случае водная масса распределяется между двумя соседями в определённой пропорции. Таким образом, появляется возможность распределять поток между несколькими ячейками при сохранении однозначности направления стока. Алгоритм D_{∞} относится к «дисперсивным», хотя и рассчитывает единственное направление стока для ячейки. Направление стока, рассчитываемое по D_{∞} , также используется в некоторых модификациях D8, рассматриваемых ниже.

Алгоритмы D8-LAD, D8-LTD и iGD8 модифицируют стандартные процедуры алгоритмов D8 и GD8, используя направление стока, рассчитываемое алгоритмом D_{∞} . D8-LAD и D8-LTD (Orlandini et al., 2003) рассчитывают разность между направлением стока по D_{∞} и одним из восьми направлений стока, кратных 45° . В LAD-варианте (*least angular deviation*) рассчитывается разность азимутов, в LTD (*least transverse deviation*) – расстояние между центром ячейки, соответствующей «кратному» направлению, и лучом «теоретического» направления. Алгоритм iGD8 (Shin, Paik, 2017) является модификацией GD8, учитывающей опыт D: iGD8 добавляет к процедуре выбора направления условие минимизации отклонения от «теоретического» направления стока (несущественно отличающегося от того, которое рассчитывается алгоритмом D_{∞}).

Отклонение рассчитывается сложным образом с использованием как угловой, так и линейной разности между направлениями.

Все перечисленные алгоритмы, кроме D^∞ , рассчитывают единственное направление стока и распределяют поток из ячейки строго в одну ячейку. D^∞ также рассчитывает направление стока для ячейки и выражает его единственным числом, но позволяет распределять поток между двумя соседними ячейками. Алгоритмы, охарактеризованные ниже, не вычисляют и не хранят направление стока в явном виде. Алгоритм $FD8$, называемый также MD или MFD (Freeman, 1991; Quinn et al., 1991), даёт возможность распределять поток между всеми соседними ячейками, высота которых меньше, чем высота центральной ячейки. Доля потока f_i , приходящегося на соседнюю ячейку, пропорциональна уклону линии, соединяющей центры ячеек (β_i – угол наклона линии):

$$f_i \propto \frac{\text{tg}\beta_i}{\sum_{i=1}^8 \text{tg}\beta_i}$$

В общем случае, чем больше уклон (тангенс угла наклона линии), тем большая доля потока приходится на соответствующую соседнюю ячейку. Однако во всех разновидностях $FD8$ уклон модифицируется путём умножения на дополнительный параметр или возведения в степень. Существует также модификация $FD8$, в которой коэффициент модификации рассчитывается индивидуально для каждой ячейки – $MFD-md$ (Qin и др., 2007).

Алгоритм MD^∞ (Seibert, McGlynn, 2007) распределяет поток между всеми доступными соседними ячейками, используя способ расчёта по восьми треугольникам, аналогичный применяемому в алгоритме D^∞ . Получающееся распределение отличается меньшим «дисперсностью» по сравнению с $FD8$.

В целом «дисперсивные» алгоритмы (или алгоритмы группы MFD) не определяют единственное направление стока для ячейки ЦМР и потому непригодны для задач автоматического выделения сети потенциальных водотоков и построения границ бассейнов. Однако они лучше подходят для расчёта таких морфометрических параметров, как общая и удельная площадь водосбора (Orlandini, Moretti, 2009; Pan et al., 2004; Qin et al., 2007; Quinn et al., 1995; Wilson, 2012).

Существует также группа алгоритмов, использующих для моделирования стока трассировку потока и построение линий тока. Они от-

личаются от всех описанных ранее алгоритмов тем, что не рассматривают ячейку ЦМР как элементарную единицу анализа. Вместо этого они используют высоты ЦМР для построения линий тока и проводят расчёт морфометрических характеристик на основе анализа линий.

Метод «катящегося шарика» (*Kinematic Routing Algorithm, KRA, Lea's method*) был исторически первым таким алгоритмом (Lea, 1992). Каждая ячейка ЦМР представлена как фрагмент наклонной плоскости, уклон которой определяется высотами соседних ячеек. Проекция нормали к этой плоскости на горизонтальную плоскость определяет азимут направления стока. Движение элементарной водной массы уподобляется шарик, «катящемуся» по поверхности ЦМР. Поток, «появившись» в некоторой ячейке ЦМР, движется в пределах этой ячейки по рассчитанному азимуту; при переходе в другую ячейку направление движения изменяется в соответствии с новым значением азимута. Результатом такого построения служит линия, подобная линии тока. Суммирование всех линий, проходящих через некоторую ячейку, позволяет вычислить водосборную площадь или объём стока для этой ячейки. По формальным признакам алгоритм может быть отнесён к группе SFD, поскольку вычисляет единое направление стока для ячейки, и назван дисперсивным, поскольку фактически распределяет поток между несколькими ячейками. Однако фактически элементарной единицей анализа служит не ячейка, а линия тока; регулярная сетка ЦМР используется как вспомогательная конструкция.

Идеи KRA используются в методе *DEMON (Digital Elevation Model Networks)* (Costa-Cabral, Burges, 1994). Направления стока и линии тока здесь рассчитываются так же, как в алгоритме Ли, разница же заключается в интерпретации потока. В рамках KRA водная масса считается сконцентрированной в центре ячейки и перемещающейся далее как единое целое («катящийся шарик»). DEMON использует более сложную конструкцию, называемую «полоса потока» (*flow tube*). Эта полоса строится из каждой ячейки ЦМР вниз по склону и ограничена двумя линиями тока, начинающимися из углов соответствующей ячейки. При построении положение каждой линии тока определяется независимо, и полоса потока имеет переменную ширину. Ширина полосы и площадь её пересечения с ячейкой ЦМР используются для расчёта морфометрических параметров.

KRA и DEMON позволяют получить адекватные результаты при использовании их на реальных ЦМР, но на абстрактных поверхностях

их результаты заметно отличаются от ожидаемых, что вызывает сомнения в достоверности результатов расчёта (Tarboton, 1997).

Качественно новый подход был обоснован Галлантом и Хатчинсоном (Gallant, Hutchinson, 2011). Авторы вывели дифференциальное уравнение, связывающее удельную водосборную площадь a с длиной линии тока l и горизонтальной кривизной поверхности рельефа κ_c :

$$\partial a / \partial l = 1 - a \kappa_c$$

На практике это означает, что для вычисления удельной водосборной площади в произвольной точке внутри экстенга ЦМР необходимо построить линию тока *вверх* по склону вплоть до водораздела и затем проводить численное интегрирование вдоль линии в обратном порядке. Алгоритм, реализующий такой подход, был представлен совсем недавно в работе (Qin et al., 2017). Сравнивая результаты расчёта на абстрактных моделях рельефа с теоретически ожидаемым распределением, авторы отмечают существенно лучший результат нового подхода по сравнению с традиционными алгоритмами, основанными на переносе «из ячейки в ячейку» (в том числе и их собственным алгоритмом MFD-md). Однако на реальных моделях алгоритм сталкивается с трудностями: корректному построению линий тока мешают локальные максимумы. Проблема локальных максимумов появляется в гидрологическом анализе ЦМР впервые; для всех предшествующих алгоритмов основной проблемой были не максимумы, а замкнутые локальные понижения («ямы»). Для борьбы с ними разработано множество способов, позволяющих привести ЦМР к «гидрологически корректному» виду (см., например, Jenson, Domingue, 1988; Lindsay, 2016; Wang, Liu, 2006). Другая проблема нового метода – его высокая вычислительная сложность по сравнению с традиционными подходами.

В таблице приведены сведения о реализации алгоритмов расчёта направлений стока в современных программных средствах ГИС.

Все охарактеризованные выше алгоритмы обладают общими ограничениями применимости – жёсткая «привязанность» к регулярной сетке ЦМР или специфические требования к исходным данным, что побуждает создавать новые, более совершенные подходы к моделированию стока. На кафедре картографии и геоинформатики географического факультета МГУ был разработан алгоритм, идейно схожий

Таблица. Реализация алгоритмов расчёта направлений стока в современных ГИС-пакетах. По материалам (Кошель, Энтин, 2016), с изменениями.

	D8	Rho8	D ∞	FD8 (MFD)	MFD-md	MD ∞	KRA	DEMON
SAGA GIS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Whitebox GAT	✓	✓	✓	✓		✓		
GRASS	✓			✓				
TauDEM	✓		✓					
ArcGIS	✓							
Ilwis	✓							

с KRA и подходом, предложенным Галлантом и Хатчинсоном, но не требующий построения линий тока вверх по склону и решения проблемы локальных максимумов.

Расчёт водосборной площади на основе построения линий тока

Разработанный алгоритм использует специальную процедуру построения линий тока для расчёта общей площади водосбора. При этом форма линий тока и положение её узлов относительно свободны и не привязаны к исходной регулярной сетке ЦМР.

Формально строящаяся на модели поверхности рельефа в виде непрерывной дифференцируемой функции $f(x,y)$ линия тока, выходящая из точки x_0, y_0 вниз по склону, в параметрическом представлении $(x(t), y(t))$ является решением задачи Коши для системы дифференциальных уравнений первого порядка при значениях параметра $t > 0$ (Кошель, 2004):

$$\begin{cases} x'(t) = -\frac{\partial f}{\partial x}(x, y) \\ x'(t) = -\frac{\partial f}{\partial x}(x, y) \end{cases}; x(0) = x_0, y(0) = y_0$$

Результат численного интегрирования этой системы определяется двумя факторами: способом вычисления правой части в произвольной точке исследуемой области (при условии, что нам известны значения высот только в узлах регулярной сетки) и выбранным методом численного интегрирования. Восстановление непрерывных частных производных на основе высот в узлах сеточной модели рельефа можно

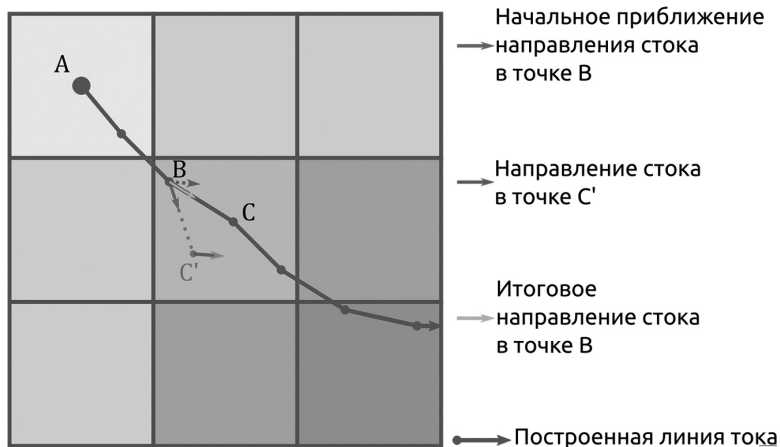


Рис. 3. Построение линии тока с использованием неявного метода Эйлера. Для точки B сначала определяется приближённое направление стока (направление, противоположное направлению вектора градиента), затем в этом направлении строится сегмент линии до точки C' . В точке C' также вычисляется направление стока. Для окончательного определения направления стока в точке B используется начальное приближение и направление, рассчитанное для точки C'

выполнять разными способами; в рассматриваемом случае использовалась билинейная интерполяция по значениям в четырёх ближайших узлах сетки. При выборе способа интегрирования были опробованы: метод Эйлера первого порядка, неявный метод Эйлера первого порядка и метод Рунге-Кутты четвёртого–пятого порядка. Метод Эйлера оказался практически непригоден для задачи восстановления линий тока из-за часто возникающих осцилляций. Метод Рунге-Кутты позволяет получить наиболее плавные линии, но весьма вычислительно сложен. По соотношению затрат вычислительных мощностей и качества получаемой линии оптимальным оказался неявный метод Эйлера. Иллюстрация работы этого метода представлена на рис. 3.

Для расчёта водосборной площади и объёма стока выполняется построение линий тока из центра каждой ячейки ЦМР. С линией тока ассоциируется значение рассчитываемой величины (водосборной площади или объёма стока), соответствующее той ячейке, из которой она начинается. Когда линия построена, анализируется её положение относительно ячеек регулярной сетки. Предлагается два варианта такого анализа: «простой» и «точный». В «простом» спосо-

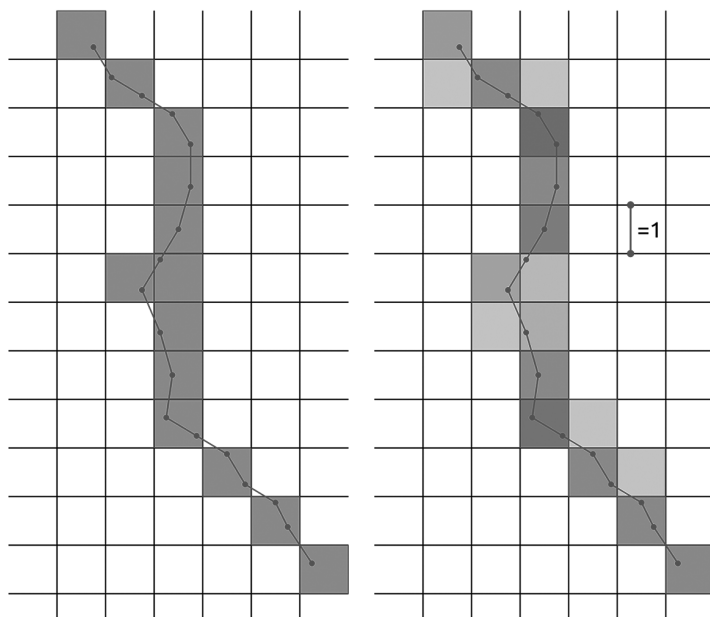


Рис. 4. Растреризация построенной линии тока – «простой» (слева) и «точный» (справа) способы

бе используется только положение вершин построенной ломаной; к значениям рассчитываемой величины в тех ячейках, куда попала хотя бы одна вершина, добавляется значение, ассоциированное с данной линией. Если в ячейку не попала ни одна вершина, значение в ней не увеличивается, даже если часть линии фактически проходит по этой ячейке. «Точный» вариант основан на подсчёте длин сегментов линии тока. Для каждой ячейки, через которую проходит линия, определяется длина той части ломаной, которая находится в пределах ячейки. Эта длина используется как весовой коэффициент при добавлении новой «порции» водосборной площади к ячейке. Процедура анализа положения линии тока относительно ячеек сетки ЦМР показана на рис. 4.

Алгоритм, названный нами FLBA (FlowLine-Based Algorithm), реализован как самостоятельная программа на языке Fortran. Исходными данными служат сеточная цифровая модель рельефа и параметры метода. В результате работы программы создаётся сеточная модель распределения водосборной площади, параметры регулярной сетки которой соответствуют параметрам регулярной сетки исходной ЦМР. Подробное

описание алгоритма представлено в работе (Кошель, Энтин, 2017). При идейном сходстве с подходом Галланта-Хатчинсона, FLBA имеет существенное практическое преимущество – для него не актуальна проблема недостоверных локальных максимумов, которая была отмечена (Qin et al., 2017). Это позволяет комбинировать разработанный алгоритм с существующими способами «гидрологической коррекции» ЦМР, направленными прежде всего на борьбу с локальными минимумами.

Результаты расчёта водосборной площади с использованием различных алгоритмов трассировки потока

На рис. 5 и рис. 6 показаны результаты расчёта водосборной площади с использованием различных алгоритмов определения направлений стока по цифровой модели рельефа, построенной по данным воздушного лазерного сканирования. Площадка имеет неправильную форму и небольшие размеры (около 300 × 500 м), абсолютные высоты изменяются от 695 до 895 м, рельеф представлен преимущественно эрозионными формами (водосборные воронки, каналы стока, конуса выноса).

Расчёт водосборной площади проводился с использованием инструментария SAGA GIS и разработанной программы. Результаты различаются прежде всего распределением относительно высоких (на порядок выше, чем соседние) значений водосборной площади. Некоторые алгоритмы (D8 и его аналоги) концентрируют сток в узкой полосе шириной в одну ячейку вблизи тальвегов. Другие (группа MFD) формируют широкие полосы высоких значений водосборной площади; при этом конкретные значения величины плавно уменьшаются от центральных линий тальвегов к склонам. Другая группа особенностей – «артефакты», то есть области недостоверного распределения стока, вызванные несовершенством алгоритмов или особенностями их реализации. Эти особенности хорошо известны для D8, который формирует сети параллельно текущих потоков на склонах и «изгибает» тальвеги под углами, кратными 45° (Orlandini et al., 2012; Pan et al., 2004). Подобные же детали, но в гораздо меньшей степени, заметны и на результатах расчёта по алгоритмам, использующим построение линий тока – KRA и DEMON (см. рис. 6, небольшие «ответвления» от основных линий тальвегов). Разработанный авторами алгоритм FLBA, использующий схожий принцип расчёта, лишён этого недостатка.

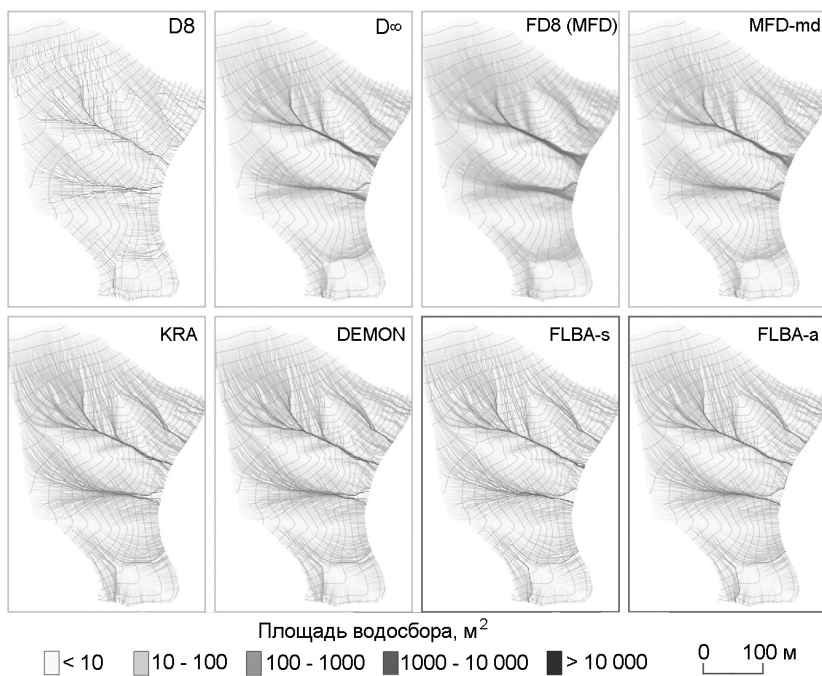


Рис. 5. Распределение водосборной площади, рассчитанной при помощи различных алгоритмов определения направлений стока. Красной рамкой выделены результаты работы авторского алгоритма

Проведённый расчёт не позволяет сделать окончательных выводов о большей или меньшей пригодности алгоритмов, однако можно проследить некоторые общие особенности. В целом они примерно соответствуют описанному выше разделению алгоритмов на «недисперсивные» (D8 и его производные) и «дисперсивные» (D ∞ и алгоритмы группы MFD). Алгоритмы, использующие построение линий тока, формально относятся к «дисперсивным», но распределение, получаемое с их помощью, в большей степени напоминает результат расчёта с использованием D8, чем MFD – они концентрируют потоки в узких каналах, а не распределяют воду равномерно по склону. Эти особенности необходимо учитывать при расчёте водосборной площади в разных условиях.

Для детальных моделей с выраженным эрозионно-денудационным рельефом, к числу которых относится представленный пример, применение «недисперсивных» подходов может привести к сужению области высоких значений площади водосбора в днищах эрозионных

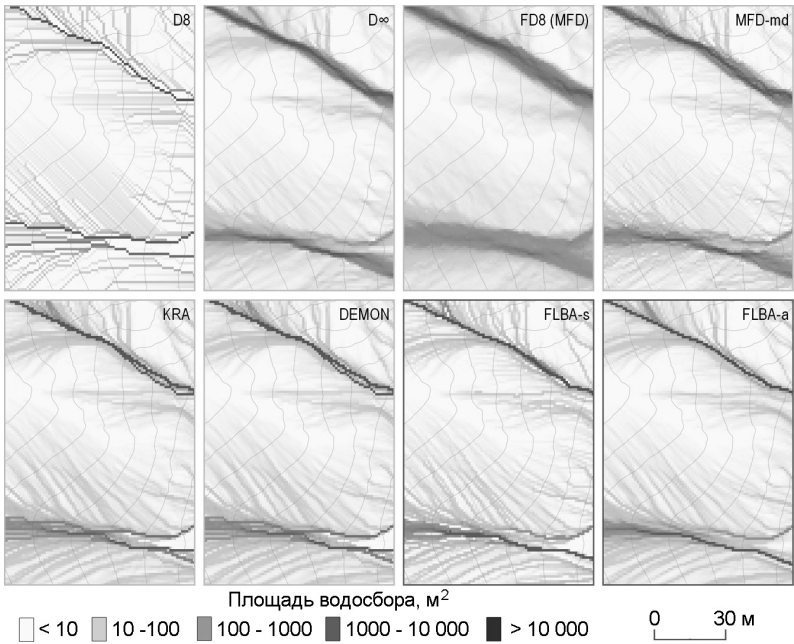


Рис. 6. Распределение водосборной площади, рассчитанной при помощи различных алгоритмов определения направлений стока (детальное изображение фрагментов, представленных на рис. 5). Красной рамкой выделены результаты работы авторского алгоритма

форм. В ситуациях, заметно отличающихся от приведённой, например, на моделях с низким пространственным разрешением, «недисперсивность», наоборот, может оказаться желательным фактором, позволяющим предотвратить разбегание потока по широкой речной долине. Полагаем, что несколько лучшее соответствие физике процесса, составляющего концептуальную основу предлагаемого алгоритма (FLBA), может служить одним из независимых критериев оценки достоверности получаемого результата, по крайней мере, на детальном ЦМР.

Приведённые характеристики позволяют оценить ситуации, для которых будут пригодны разные алгоритмы трассировки потока. В отдельную группу следует сразу выделить недисперсивные алгоритмы (D8 и его аналоги), поскольку, несмотря на недостоверное распределение воды, они обладают одной важной особенностью – однозначностью в указании направлений стока. Это обуславливает их применение в таких задачах, как автоматическое построение сети потенциальных водото-

ков и границ водосборных бассейнов. Однако для расчёта водосборной площади их следует применять с осторожностью. Это замечание будет особенно важным для пользователей ПО ArcGIS, где алгоритм D8 – это единственный доступный алгоритм определения направлений стока.

«Региональные» алгоритмы, использующие построение линий тока, в целом показывают заметно меньшую «дисперсивность», чем алгоритмы группы MFD. Они концентрируют поток в узких каналах (шириной порядка одной ячейки ЦМР). Такое поведение оптимально для ЦМР, где характерные размеры показываемых эрозионно-денудационных форм рельефа сопоставимы с размерами ячейки: например, если ширина днища оврага не превышает 5 м, а размер ячейки ЦМР составляет 3–4 м. При этом следует помнить, что результаты расчётов с использованием алгоритмов KRA и DEMON, по крайней мере в SAGA GIS, не свободны от артефактов.

При значительных различиях между размером форм изучаемого рельефа и размера ячейки ЦМР (ширина днища около 5 м при размере ячейки менее метра), следует пользоваться алгоритмами группы MFD; на наш взгляд, предпочтительным вариантом является MFD-md, поскольку, во-первых, избавляет исследователя от необходимости самостоятельно настраивать параметры алгоритма (степень разделения потока для «классического» MFD), а во-вторых, демонстрирует хорошее (по сравнению с аналогами) сходство с ожидаемыми результатами при расчёте на абстрактных поверхностях.

Определённые ожидания связаны с появившимися в последние годы алгоритмами трассировки потока, не использующими «регулярно-сеточную» модель распространения воды – метод Галланта-Хатчинсона и FLBA, – но примеров их применения пока ещё недостаточно.

Заключение

Несмотря на значительное развитие приёмов моделирования движения воды по цифровой модели рельефа, к настоящему времени не выработано единых критериев оценки корректности работы алгоритмов трассировки потока и определения направлений стока. Существующие оценки основываются, как правило, на сравнении результатов расчёта морфометрических параметров по ЦМР, представляющим абстрактные поверхности или реальный рельеф; в единичных работах сделаны попытки экспериментальной полевой верификации. Диффе-

ренциальное уравнение, связывающее удельную водосборную площадь с длиной линии тока и горизонтальной кривизной поверхности, предложенное Галлантом и Хатчинсоном, представляет интерес для моделирования, но его применение ограничивается трудностями практического характера, связанными с проблемой локальных максимумов на ЦМР.

Алгоритм, разработанный коллективом авторов (FLBA), в этих условиях имеет некоторые преимущества. Во-первых, идея моделирования движения водных масс по непрерывной поверхности более близка физике процесса, чем моделирование стока «из ячейки в ячейку». Второе преимущество алгоритма состоит в том, что при идейном сходстве с подходом Галланта-Хатчинсона, FLBA не требует построения линий тока вверх по склону и, таким образом, не сталкивается с необходимостью предварительного устранения локальных максимумов. Иными словами, для коррекции модели перед использованием FLBA достаточно уже существующих алгоритмов заполнения локальных понижений.

Результаты расчёта водосборной площади при помощи различных алгоритмов (в том числе FLBA) не выявляют наиболее достоверную картину распределения. Можно говорить о большем или меньшем «разбросе» стока различными алгоритмами: минимальный разброс характерен для D8, максимальные – для группы MFD. Алгоритмы, использующие построение линий тока, позволяют получить промежуточный результат – с концентрацией стока в единственной ячейке, но без формирования нереалистичной сети «псевдо-тальвегов» на склонах. При этом результат расчёта по FLBA отличается от результатов расчёта по KRA и алгоритму DEMON меньшим количеством или почти полным отсутствием нереалистичных сегментов тальвегов, ориентированных под углами, кратными 45°. Это позволяет предположить, что результаты расчёта по FLBA могут быть использованы непосредственно для морфометрического анализа рельефа или в качестве опорных данных для верификации других алгоритмов.

Исследования Т.Е. Самсонова и А.Л. Энтина выполнены при поддержке Гранта Президента Российской Федерации для поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-4829.2016.5.

Литература

Кошель С.М. Теоретическое обоснование структуры и функций блока моделирования рельефа в ГИС. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М., 2004. 105 с.

- Кошель С.М., Энтин А.Л. Современные методы расчета распределения поверхностного стока по цифровым моделям рельефа // Геоморфологи. Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. Вып. 6. М.: Медиа-Пресс, 2016. С. 24–34.
- Кошель С.М., Энтин А.Л. Вычисление площади водосбора по цифровым моделям рельефа на основе построения линий тока // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2017. № 3, с. 42–50.
- Costa-Cabral M.C., Burges S.J. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas // Water Resources Research. 1994. V. 30. № 6. P. 1681–1692.
- Fairfield J., Leymarie P. Drainage networks from grid digital elevation model // Water Resources Research. 1991. V. 27. № 5. P. 709–717.
- Freeman T. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid // Computers and Geosciences. 1991. V. 17. P. 413–422.
- Gallant J.C., Hutchinson M.F. A differential equation for specific catchment area // Water Resources Research. 2011. V. 47. № 5. P. W05535.
- Jenson S.K., Domingue J.O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1988. V. 54. № 11. P. 1593–1600.
- Lea N.L. An aspect-driven kinematic routing algorithm // Overland Flow: Hydraulics and Erosion Mechanics / Ed. A.J. Parsons, A.D. Abrahams. New York: UCL Press, 1992. P. 374–387.
- Lindsay J.B. The practice of DEM stream burning revisited // Earth Surface Processes and Landforms. 2016. V. 41. № 5. P. 658–668.
- O'Callaghan J.F., Mark D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data // Computer vision, graphics, and image processing. 1984. V. 28. № 3. P. 323–344.
- Orlandini S., Moretti G., Franchini M., Aldighieri B., Testa B. Path-based methods for the determination of nondispersive drainage directions in grid-based digital elevation models // Water Resources Research. 2003. V. 39. № 6. P. 1144–1151.
- Orlandini S., Moretti G., Corticelli M.A., Santangelo P.E., Capra A., Rivola R., Albertson J.D. Evaluation of flow direction methods against field observations of overland flow dispersion // Water Resources Research. 2012. V. 48. № 10. P. 1–13.
- Orlandini S., Moretti G. Determination of surface flow paths from gridded elevation data // Water Resources Research. 2009. V. 45. № 3. P. W03417.
- Paik K. Global search algorithm for nondispersive flow path extraction // Journ. of Geophys. Research. 2008. V. 113. № F4. P. F04001.
- Pan F., Peters-Lidard C.D., Sale M.J., King A.W. A comparison of geographical information systems-based algorithms for computing the TOPMODEL topographic index // Water Resources Research. 2004. V. 40. № 6. P. W06303.
- Qin C., Zhu A.-X., Pei T., Zhou C., Yang L. An adaptive approach to selecting a flow-partition exponent for a multiple-flow-direction algorithm // Intern. Journ. of Geographical Information Science. 2007. V. 21. № 4. P. 443–458.

- Qin C.-Z., Ai B.-B., Zhu A.-X., Liu J.-Z. An efficient method for applying a differential equation to deriving the spatial distribution of specific catchment area from gridded digital elevation models // *Computers & Geosciences*. 2017. V. 100. № 2. P. 94–102.
- Quinn P., Beven K., Chevallier P., Planchon O. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain models // *Hydrological Processes*. 1991. V. 5. № 1. P. 59–79.
- Quinn P.F., Beven K.J., Lamb R. The $\ln(\alpha/\tan \beta)$ index: How to calculate it and how to use it within the topmodel framework // *Hydrological Processes*. 1995. V. 9. № 2. P. 161–182.
- Seibert J., McGlynn B.L. A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models // *Water Resources Research*. 2007. V. 43. № 4. P. 1–8.
- Shin S., Paik K. An improved method for single flow direction calculation in grid digital elevation models // *Hydrological Processes*. 2017. V. 31. № 8. P. 1650–1661.
- Tarboton D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models // *Water Resources Research*. 1997. V. 33. № 2. P. 309–319.
- Wang L., Liu H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling // *International Journ. of Geographical Information Science*. 2006. V. 20. № 2. P. 193–213.
- Wilson J.P., Aggett G., Yongxin D., Lam C.S. *Water in the landscape: A review of contemporary flow routing algorithms* // *Advances in Digital Terrain Analysis*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. P. 213–236.
- Wilson J.P. Digital terrain modeling // *Geomorphology*. 2012. V. 137. № 1. P. 107–121.

A.L. Entin, S.M. Koshel, I.K. Lurie, T.E. Samsonov

MORPHOMETRIC ANALYSIS OF DIGITAL ELEVATION MODELS FOR ASSESSMENT AND MAPPING OF SURFACE FLOW DISTRIBUTION

The article presents a brief review of algorithms for computing morphometric parameters to model water movement over digital elevation model (DEM) surface – the sphere of hydrological DEM analysis. A brief description and analysis of contemporary flow routing algorithms is given, and a new algorithm for catchment area computation is presented. The evaluation of functionality of the new algorithm is performed through its comparison with other algorithms which are implemented in modern GIS software. The article also gives recommendations for application of flow routing algorithms for catchment area computation.

Т.Е. Хромова

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В ГЛЯЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Введение

Один из старейших методов исследования в гляциологии – картографический. Пройдя путь от топографических карт отдельных ледников и карт-схем, иллюстрирующих результаты исследований, до фундаментальных картографических произведений и геоинформационных продуктов, гляциологическая картография продолжает непрерывно развиваться (Котляков и др., 2009). Современная гляциологическая цифровая картография не только способ представления пространственных данных и результатов научных исследований, но и мощный инструмент получения новых знаний о криосфере Земли.

Значительные и быстрые изменения окружающей среды требуют применения методов, позволяющих справиться с большим потоком информации, оптимизировать процесс сбора, хранения, анализа и обмена данными. Такие возможности предоставляют геоинформационные технологии (Бакланов и др., 2011).

Одним из основных направлений применения ГИС в исследованиях криосферы служит создание цифровых баз криосферных данных, визуализация результатов дистанционных и наземных наблюдений на картографических серверах, формирование крупных национальных и международных центров данных, аккумулирующих и предоставляющих доступ к информации о компонентах криосферы на глобальном, региональном и локальном уровнях. Всё это – составная часть мирового процесса формирования единой инфраструктуры пространственных криосферных данных, в который свой вклад вносит и российская школа гляциологической картографии.

В России быстрый переход на создание цифровых массивов данных и активное использование геоинформационных технологий в гляциологических исследованиях обусловлены богатой историей применения картографического метода исследований и системного подхода в отечественной гляциологии (Котляков и др., 1997). Основными результатами таких исследований стали Каталог ледников СССР и Атлас

снежно-ледовых ресурсов мира (Атлас..., 1997а, б). Цифровые версии этих изданий составляют ядро системы гляциологических информационных продуктов, создаваемых в Институте географии РАН.

Наряду с формированием цифровых баз данных и созданием геоинформационных структур активно развивается адаптация и применение геоинформационного инструментария для анализа данных о компонентах криосферы, получаемых как дистанционно, так и в результате полевых наземных измерений.

Исследования последних лет

В настоящее время существует несколько международных структур, аккумулирующих данные о компонентах криосферы Земли и развивающие геоинформационные порталы. Это Мировая служба мониторинга ледников (WGMS) (www.wgms.ch), созданная в 1986 г. под эгидой международной программы по окружающей среде (UNEP) Организации объединённых наций и других международных организаций (Haeberli, 1998); Всемирный каталог ледников (http://nsidc.org/data/docs/noaa/g01130_glacier_inventory/#data_description), решение о создании которого было принято в рамках Международного гидрологического десятилетия, объявленного UNESCO на период 1965–1974 гг. (Müller et al., 1977; Hoelzle, Trindler, 1998; Perennial..., 1970); международный проект Национального космического агентства США «Глобальный мониторинг наземного льда из космоса» (GLIMS) (<http://www.glims.org>), тесно связанный с ним каталог ледников Рандолф (RGI) (<http://www.glims.org/RGI/randolph.html>) (Pfeffer et al., 2014), создание которого было инициировано в ответ на запрос межправительственной группы по изменениям климата при подготовке пятого оценочного доклада (IPCC AR5); проект Европейского космического агентства (ESA) GlobGlacier (2007–2010) и его продолжение, проект «Ледники» в рамках программы Европейского космического агентства «Инициатива по исследованию климатических изменений» (Paul et al., 2015) <http://cci.esa.int/projects>.

Особое место в этом списке занимает мировой центр данных по гляциологии, основанный в 1957 г. и базирующийся в г. Боулдер, США (<https://nsidc.org/>). Основная задача центра заключается в информационной поддержке полярных исследований и исследований криосферы. Здесь аккумулируются и распространяются цифровые и аналоговые

данные о снеге и льде, хранится информация о снежном покрове, лавинах, ледниках и ледниковых покровах, морском льде, льде на реках и озёрах, многолетнемёрзлых породах, атмосферном льде, палеогляциологические данные и данные ледниковых кернов. На сайте центра доступны основные коллекции данных о ледниках на Земле – Всемирный каталог ледников, База данных о ледниках проекта GLIMS, каталог ледников Рандолф (RGI). Здесь предоставляется доступ ко всем основным специализированным гляциологическим порталам и активно используется весь спектр геоинформационных возможностей для формирования баз данных и визуализации пространственной информации на картографических северах.

Отличительной особенностью центров данных и организованных при них геопорталов служит тесная связь с национальными космическими агентствами, в частности NASA и ESA. Основная их функция – это организация, визуализация и распространение исходных и прошедших предварительную обработку данных космического зондирования Земли и создание специализированных баз данных, аккумулирующих результаты анализа дистанционной информации.

Российские учёные активно принимали и принимают участие в формировании международных информационных структур. Так, например, идея широкой каталогизации ледников впервые была высказана в Советском Союзе (Авсюк, 1960; Виноградов и др., 1966). Успешный опыт работ в Советском Союзе привёл к идее каталогизации всех ледников земного шара и создания Всемирного каталога ледников. Российские учёные принимали самое непосредственное участие в разработке и создании он-лайн сервиса по картографированию дистанционных данных о распространении морских льдов в полярных широтах. Один из региональных центров проекта GLIMS организован и успешно работает в Институте географии РАН. Данные в каталоге ледников Рандолф (RGI) на территорию России регулярно обновляются российскими участниками.

Материалы, распространяемые центрами данных, активно используются мировым научным сообществом для анализа состояния и динамики компонентов криосферы. В частности, международный проект GLIMS дал толчок интенсивному развитию и широкому использованию геоинформационных методов для анализа современных размеров и динамики ледников, созданию системы мониторинга ледников на базе космической информации, преимущественно оп-

тических инструментов, установленных на искусственных спутниках, таких как ASTER (Raup et al., 2007). В рамках проекта параметры космической съёмки были скорректированы специально в целях мониторинга ледников. Создана международная сеть региональных центров, где проводится анализ космических изображений, в том числе и в России. Для анализа изображений было разработано специальное программное обеспечение GLIMS/View (<http://www.glims.org/GLIMSView/>). С целью получения единообразной информации было создано руководство для проведения дешифрирования ледников по космическим снимкам. (Paul et al., 2009; Racoviteanu et al., 2009). Особое внимание уделено возможным ошибкам при анализе данных и точности получаемых результатов (Paul et al., 2013). Более 60 организаций из разных стран вовлечены в проект. Результаты анализа региональные центры передают в центральный архив, расположенный в Мировом центре данных по гляциологии (NSIDC) в г. Боулдер (США).

База данных содержит контуры ледников, мета-описания и может включать информацию о положении снеговой границы, границы питания, центральной линии тока, скоростях движения поверхности ледника, гипсометрические данные и литературные источники. Для доступа к базе данных разработано специальное программное обеспечение The GLIMS Glacier Viewer, представляющее собой интерактивную карту, которая визуализирует информацию из базы данных в виде пространственных слоёв: контуры ледников, снимки ASTER, расположение региональных центров, данные Мирового каталога ледников, данные о колебаниях ледников (Raup et al., 2012). Слои контуров ледников содержит результаты дешифрирования космических снимков в рамках проекта. Каждый полигон представляет собой границы конкретного ледника в конкретный момент времени. Контуры ледников из базы данных могут быть также загружены пользователем в любом из предложенных форматов: ESRI Shapefiles, MapInfo tables, Geographic Mark-up Language (GML) files, Keyhole Mark-up Language (KML, Google Earth), и the Generic Mapping Tools (GMT) multi-segment format.

С использованием баз данных и программного ГИС инструментария выполнены многочисленные работы по оценке состояния и динамики ледников почти во всех районах оледенения Земли, в том числе и на территории России. Составлен новый каталог ледников Швейцарии (Paul et al., 2002). Подготовлены каталоги ледников Ирана (Moussavi et al., 2009), Канады (Bolch et al., 2010; Svoboda, Paul, 2009), ледниковых

массивов Норвегии (Andreassen et al., 2008; Paul, Andreassen, 2009). По снимкам Landsat сделана оценка состояния альпийских ледников в 2003 г. (Paul et al., 2011). Изменения морфологических характеристик ледников Кордильеры Бланки с десятилетним интервалом были выявлены по данным дистанционного зондирования (Racoviteanu et al., 2008). Исследован вклад ледников Аляски в подъём уровня Мирового океана по снимкам ICESat (Berthier et al., 2010). Проведена оценка колебаний ледников Афганистана (Haritashya et al., 2009). Исследованы изменения площади ледников в ледниковых районах Памира (Khromova et al., 2006), Кавказа (Носенко и др., 2013), Алтая (Носенко и др., 2014; Shahgedanova et al., 2010). Многочисленные результаты анализа космической информации в основном доступны в публикациях. Актуальна задача сделать эти данные доступными для дальнейших исследований с использованием ГИС инструментария в тематических и междисциплинарных проектах.

Геоинформационные методы изучения ледников

Отличительная черта представляемых исследований – совместное использование изолинейных геоинформационных моделей характеристик нивально-гляциальных систем и результатов дешифрирования космических снимков, дающих информацию о размерах, а в сочетании с цифровыми моделями рельефа, и о морфологических особенностях ледников. Картографические модели, описывающие состояние нивально-гляциальных систем, исходные данные дистанционного зондирования, используемые для дешифрирования контуров ледников, и результаты анализа визуализируются в едином региональном геоинформационном пространстве, что генерирует новую информационную среду для дальнейших исследований.

Оценка состояния и динамики ледников. В настоящее время для дешифрирования границ ледников используют как спектрзональные, так и панхроматические снимки, получаемые в оптическом диапазоне спектра. Наибольшую эффективность обеспечивает использование по возможности комбинации различных видов съёмки в видимом и ближнем ИК-диапазонах с разрешением 15–20 м и лучше.

Отличия в спектральных характеристиках снега и льда от коренных пород используются в автоматизированных методах дешифрирования

(Bhambri et al., 2011; Kargel et al., 2005; Paul, Kääh, 2005). Однако эффективность их применения снижается при появлении моренного покрова на ледниках. Поэтому пока в большинстве случаев предпочтение отдаётся ручным методам дешифрирования как более надёжным и позволяющим с помощью оператора использовать совокупность косвенных признаков для распознавания многообразных нивально-гляциальных объектов.

При определении положений границ ледников с использованием космических снимков возникают ошибки (или погрешности измерений), обусловленные состоянием объекта и условиями съёмки, технологические ошибки, возникающие в процессе обработки снимков, а также концептуальные ошибки, обусловленные неоднозначной трактовкой понятия «ледник» (границы ледника в области питания, ледоразделы, многолетние снежники и т.п.). Если первые три типа ошибок обычно сравнительно невелики и могут быть подсчитаны стандартными статистическими методами, то концептуальные ошибки оказываются значительно большими, и их сложно оценить количественно. Результаты международного эксперимента по экспертной оценке точности дешифрирования границ ледников показали, что величина ошибки определения размеров ледников, при наличии участков поверхности, закрытых мореной, может достигать 30% (Paul et al., 2013). Для ледников, свободных от моренного покрова, величина ошибки в большей степени зависит от их размеров и может составлять менее 5% для ледников площадью более 1 км² и 1–15% для ледников с меньшей площадью.

Борьба с ошибками концептуального характера возможна путём создания единых классификаторов гляциологических объектов и методик получения их характеристик с помощью современных программных средств и геоинформационных технологий (Raup, Khalsa, 2007; Racoviteanu et al., 2009; Paul et al., 2009).

Особую актуальность оценка погрешности приобретает при изучении динамики процессов, при сравнении разновременных данных о состоянии ледников, поскольку её величина может быть сопоставима с происходящими изменениями. Неоднородность массивов исходных данных, обусловленная технологическими и концептуальными различиями, может также служить причиной ошибок. Для решения проблемы можно использовать съёмки со спутников высокого разрешения, таких как CORONA, Hexagon и Ресурс-Ф1, позволяющих реализовать современные методы обработки и обеспечить однородность исходных данных при исследовании изменений, происходящих с ледниками

Современные форматы организации данных, основанные на геоинформационных технологиях, обеспечивают возможность применения геоинформационных методов исследования, в том числе и для анализа современного состояния ледников и их изменений. Например, для дешифрирования контуров ледников в рамках проекта GLIMS широко используется программный продукт GLIMSVIEW, специально созданный для получения единообразных данных при включении в единую информационную систему. Результатом дешифрирования в программе GLIMSVIEW служат линейные векторные покрытия в географической проекции в десятичных градусах. Линейный формат исходных векторных покрытий преобразуется в полигональный, с автоматическим подсчётом площадей полученных полигонов. Формат файлов, сгенерированных в программе GLIMSVIEW, предполагает, что вся информация о леднике хранится в атрибутивной таблице к точечному покрытию, отдельно от векторного покрытия, содержащего контура ледников. Координаты точки служат идентификационным номером (ID) базы данных GLIMS. Для объединения всех данных в одну таблицу используется процедура, которая вычисляет геометрическое пересечение входных объектов и базовых объектов. Полученные динамические атрибутивные таблицы содержат информацию для каждого ледника: идентификационный номер по базе данных GLIMS, соответствующий координатам центра ледника, номер и имя ледника по национальному каталогу, площадь ледника. Для расчёта гипсометрических параметров ледников (максимальной, минимальной, средней и медианных высот и углов) используются цифровая модель рельефа и полученные ранее полигональные покрытия с атрибутивными таблицами, содержащими основные параметры ледников (Khalsa et al., 2004; Racoviteanu et al., 2009).

Для расчёта изменений параметров ледников, как правило, используется процедура, позволяющая добавлять к таблице атрибутов дополнительную информацию, используя столбцы с идентичными данными. В нашем случае связующим полем служит столбец с идентификационным номером по Мировому каталогу ледников (WGI). Так формируется единая таблица для каждого бассейна, содержащая информацию из Каталога ледников СССР и результаты обработки данных дешифрирования на разные временные срезы для каждого ледника, позволяющая провести статистические расчёты параметров ледников и их изменений.

Эти общие методические подходы были использованы для оценки изменений ледников в горных районах на территории России.

Картографические цифровые модели нивально-гляциальных систем. Для формирования массива цифровых моделей нивально-гляциальных систем были использованы материалы уникальной коллекции гляциологических знаний «Атласа снежно-ледовых ресурсов мира». Цифровые карты создавались на платформе ARC/GIS и существуют в виде векторных слоев. Тематическая нагрузка с карт Атласа снежно-ледовых ресурсов мира цифровалась вручную. Оцифровка карт проводилась по привязанному (спроецированному) растру. При проецировании сначала определялась проекция карты и параметры этой проекции. Затем в программном пакете ARC/GIS оцифрованная по растру в условной проекции карта методом проективного преобразования трансформировалась в исходную проекцию. В рамках проекта эмпирическим путем был подобран оптимальный алгоритм, дающий наиболее точный результат. Далее проводилась трансформация в единую систему координат (World Geodetic System 1984 – WGS 1984). Оформление слоев в ARC/GIS включало подбор и систематизацию условных знаков по тематическим разделам и масштабным уровням. Основное внимание уделялось оригинальной гляциологической информации. Картографические модели нивально-гляциальных систем служат основой для региональных гляциологических информационных структур.

Для автономного использования и визуализации информации на платформе Adobe Flash создана оригинальное программное приложение, организующее цифровые карты в электронный атлас (Снег. ..., 2015) (рис. 1). Электронный атлас представляет собой сочетание функциональных возможностей геоинформационных систем и адаптированного для неподготовленного пользователя интерфейса (Хромова и др., 2015). В нём реализованы возможности хранения большого объёма разнообразной информации, «свободная» навигация по информации и выход в основное меню, легко выполняемый процесс добавления данных, корректировка уже имеющийся информации, отражение информации послойно, интерактивный диалог, получение справочной или другой пояснительной информации, увеличение на экране, подключение к глобальной сети Интернет и использования её как телекоммуникационной площадки. Интерфейс Атласа организован таким образом, что доступ к картам возможен по интерактивной карте мира, по основным регионам и из списка географических районов (рис. 2).

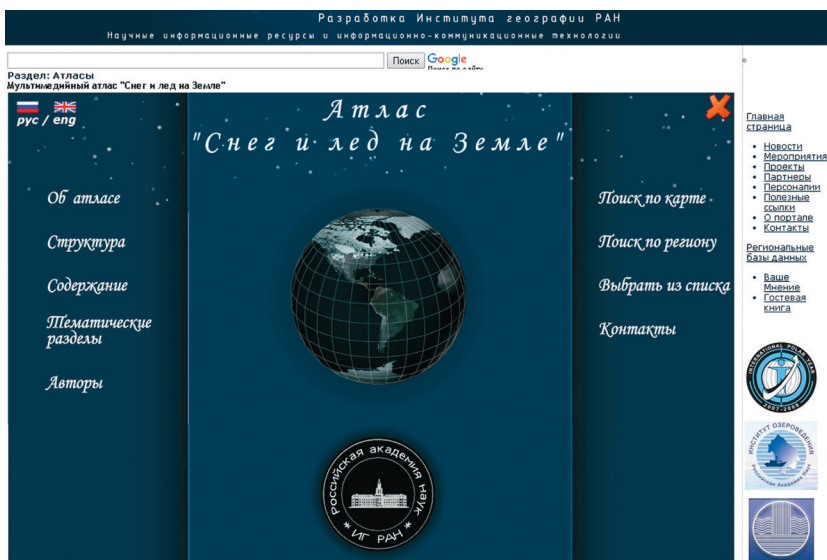


Рис. 1. Интернет страница электронного атласа «Снег и лед на Земле» на сайте ИГРАН

Исследования пространственно-временной структуры ледниковых систем. Для исследования региональных нивально-гляциальных систем используются алгоритмы картографических методов анализа пространственно распределенной информации на основе идеологии непрерывных методов изображения дискретно распределённых объектов (теория географических полей). Они, как правило, реализованы в стандартных ГИС пакетах и позволяют создавать многочисленные производные статистические картографические модели, описывающие те или иные аспекты существования нивально-гляциальных систем (Оледенение..., 2007). На среднемноголетнем уровне – это картографические модели пространственной структуры компонентов нивально-гляциальных систем и их изменчивости, картографические модели пространственного распределения взаимосвязей между основными компонентами нивально-гляциальных систем и факторами, определяющими их состояние и изменение во времени. На основе ежегодной информации исследуется устойчивость во времени полученных закономерностей и создаются оперативные картографо-статистические модели существования нивально-гляциальных систем (Хромова, Чернова, 2003).

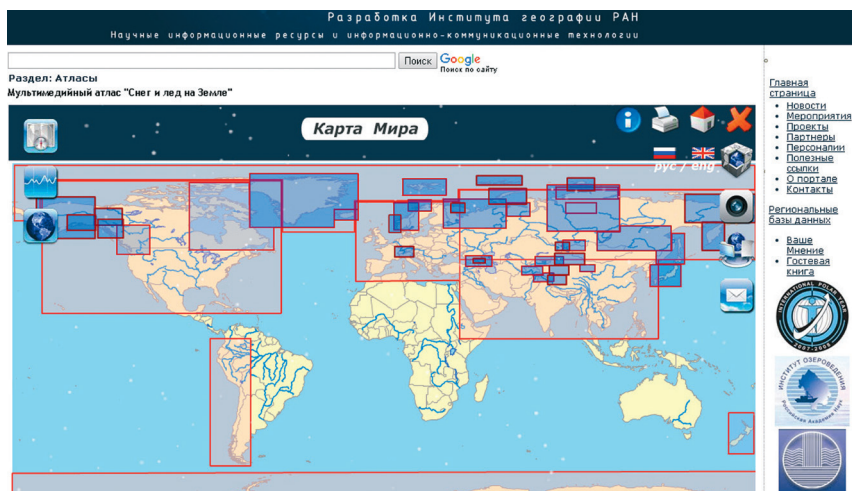


Рис. 2. Интерактивная карта мира, организующая доступ к картам Атласа «Снег и лед на Земле»

Основные задачи, которые решаются в рамках исследования нивально-гляциальных систем в геоинформационной среде, – это выявление синхронности динамики компонентов нивально-гляциального комплекса; изучение реакции компонентов этого комплекса на глобальные климатические изменения и его влияния на окружающую среду при учёте взаимосвязей между элементами этого комплекса.

Формирование пространственной структуры гляциологических данных началось в рамках портала «География» (<http://www.webgeo.ru>) Института географии РАН (Хромова, Медведев, 2014; Электронная..., 2009). Функциональная структура портала ориентирована на реализацию нового технологического решения в науках о Земле – распределённой цифровой геобиблиотеки (*geolibrary*) на Веб-, ГИС- и Грид-технологиях и на обеспечение информационной поддержки пользователя в составе трёх взаимосвязанных блоков ресурсов: тематических ресурсов географии; электронных ресурсов (ГИС, базы данных, электронные карты и атласы); информационных ресурсов (метаописания и активные гиперссылки на полнотекстовые публикации статей, справочников, словарей, а также на информацию о географических организациях и географических названиях).

При создании портала использована целая серия современных программных средств, относящихся к Веб-, ГИС- и другим техноло-

<p>Оледенение Кавказа</p>	<p>Оледенение Кавказа</p>		<p>О проекте Проект направлен на обеспечение информационной базы для исследования оледенения Кавказа. Целью проекта является формирование базы данных: организующей обширную и разрозненную информацию о состоянии, изменениях и климатических условиях существования ледников Кавказа. Проект выполняется в рамках концепции организации кроссферных данных в геоинформационной среде, разработанной в Институте географии РАН. Предлагаемая база данных представляет собой распределенную информационную структуру, содержащую векторную, растровую, табличную и текстовую информацию, включая данные каталогов ледников, топографические и тематические карты, космические изображения и результаты их дешифрирования, результаты полевых исследований, данные метеонаблюдений. Проект поддержан РФФИ. Грант № 11-07-00389-а</p>
<ul style="list-style-type: none"> Библиотека Веб-камеры на Кавказе Карты Каталоги ледников Космические снимки метео данные Проекты Районы исследований Ссылки Контакты Международные проекты Измерение наземного льда из космоса Международная служба мониторинга ледников О проекте О проекте Карта сайта 			
<p>Подстраницы (9): Библиотека Веб-камеры на Кавказе Карты Каталоги ледников Космические снимки метео данные Проекты Районы исследований Ссылки</p>			

Рис. 3. Интернет страница региональной базы данных «Оледенение Кавказа»

гиям и средам программирования. Портал выполнен на языке PHP (Personal Home Page Tools) – скриптовом языке программирования общего назначения, активно применяемом для разработки веб-приложений. Этот язык использовался во взаимодействии с системой управления базами данных MySQL. При создании портала применялись также Flash-технологии, элементы которых используются в качестве различных составляющих частей: меню портала, баннеров, библиотеки карт, анимаций. Визуализация геореферированной пространственной гляциологической информации проводится на основе картографических серверов. Доступ к данным оформляется в виде Интернет страниц, на которых помещаются ссылки на региональные текстовые, табличные и картографические материалы (рис. 3).

Результаты исследований

Основным результатом комплексных работ по развитию геоинформационного картографирования для гляциологических исследований стала разработка структуры и начало формирование единого информационного пространства для организации и анализа гляцио-

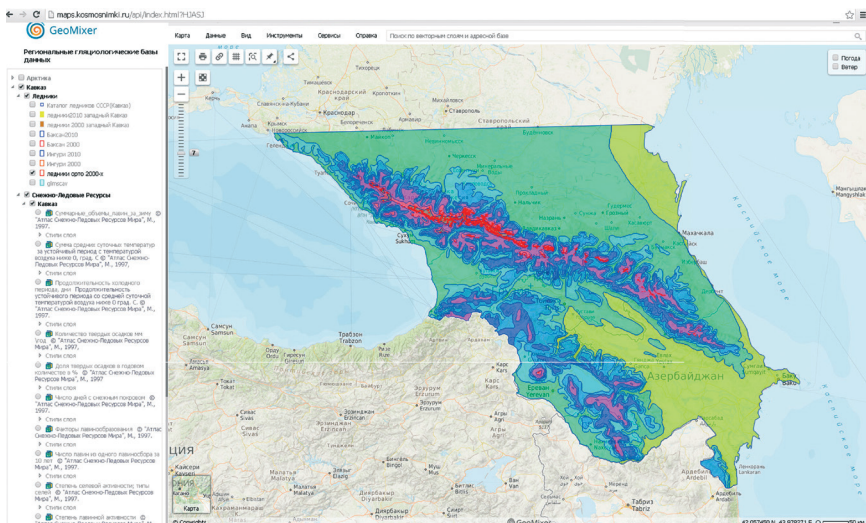


Рис. 4. Цифровые карты атласа «Снег и лед на Земле» в региональной базе данных «Оледенение Кавказа»

логических данных. (Хромова, Медведев, 2014). Ядром этой информационной системы стал электронный атлас «Снег и лед на Земле» (Хромова и др., 2015). Структура электронного атласа как картографического произведения достаточно чётко определена и реализована в последовательности размещения разделов и карт в каждом разделе. Материал представлен на трёх масштабных уровнях: мир – материк – природный регион.

Карты природных регионов представляют самый большой раздел в Атласе. В него входят карты арктических островов, антарктических областей и карты районов горного оледенения Европы, Азии, Северной и Южной Америки. Здесь наиболее полно представлены тематические разделы Атласа. Карты этого раздела составляют основу региональных гляциологических баз данных (рис. 4).

Вторым разделом служит цифровой Каталог ледников, отражающий состояние оледенения на середину XX в. и результаты дешифрирования данных дистанционного зондирования разного разрешения на разные временные срезы. К началу второго десятилетия XXI в. с использованием космической информации на территории континентальной России удалось наиболее подробно исследовать самые крупные ледниковые районы: Кавказ, Алтай и Камчатку. Из неболь-

ших ледниковых систем наилучшим образом обеспечены данными и изучены ледниковые районы Полярного Урала, гор Сунтар-Хаята, хребтов Кодар и Восточный Саян. Трудности исследования небольших ледниковых систем с использованием космических снимков связаны в первую очередь с малыми размерами отдельных ледников, что затрудняет использование доступных снимков среднего разрешения и требует привлечение дополнительных данных крупного масштаба.

Изменение площади всех ледников Кавказа исследовано между началом, серединой и концом XX в. Площадь ледников Кавказа сократилась от начала до середины XX в. на 27,46%, а с середины до конца XX в. – ещё на 17,7%. Для Эльбруса подобные значения составили соответственно 14 и 6,28%. Скорость сокращения оледенения за первую половину XX в. была выше, чем за вторую. Эти результаты хорошо соотносятся с оценками других исследователей Кавказа. Однако заметно различие между поведением ледников на южном и северном склонах Главного Кавказского хребта. При общей тенденции сокращения площадей, ледники на северном склоне за первую половину прошлого столетия сократились на 30% и за вторую на 17,9%, тогда как ледники южного склона вели себя противоположным образом, сократившись на 12 и 28% соответственно.

Динамичность современных изменений предполагает более высокую детальность исследований нивально-гляциальных процессов во времени. Повторные съёмки обеспечивают однородность условий получения и сопоставимость разновременных данных о состоянии ледников (рис. 5). На их основе исследована территория Главного Кавказского хребта от Клухорского перевала на Западном Кавказе до Местийского перевала на Центральном Кавказе, включая Эльбрус. Площадь ледников здесь сократилась с 2001 по 2010 г. на 19,2 км², или на 4,7±2,1%. При этом ледники Центрального Кавказа сократились на 8,5 км² (5,0±2,4%), а ледники Западного Кавказа – на 4,9 км² (4,1±2,7%). Максимальная величина сокращения 5,6±2,3% отмечена для ледников южного склона Центрального Кавказа, а наименьшая – на южном склоне Западного Кавказа. Это вполне согласуется с ухудшением условий питания ледников с запада на восток вдоль Главного Кавказского хребта (Носенко et al., 2013; Shahgedanova et al., 2014). Эльбрус с 1999 по 2012 г. потерял 5,8 км², или 4,9%; среднегодовая скорость сокращения площади ледников здесь составила 0,4% в год. Эта величина мало отличается от скорости сокращения лед-

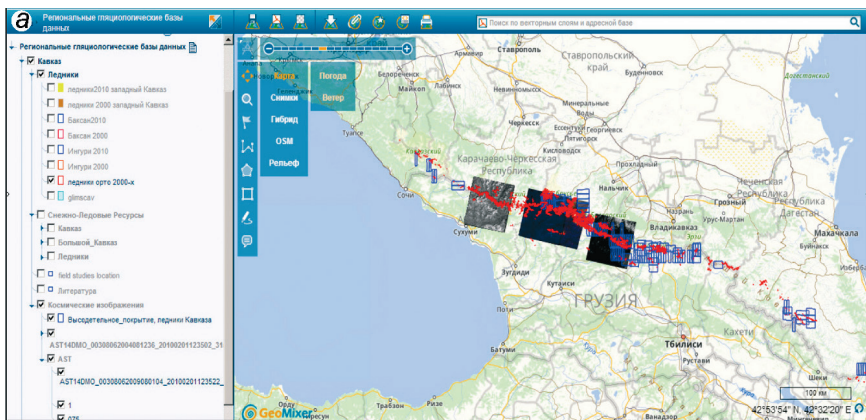


Рис. 5. Разновременные космические снимки и результаты их дешифрирования в региональной базе данных «Оледенение Кавказа»

ников Главного Кавказского хребта (0,6% для центрального и 0,4% для западного участков хребта).

Оценены изменения площадей ледников Горного Алтая с 1952 по 2004 г. Изменения площадей лежат здесь в широком диапазоне – от 5 до 29,6%. Изменения конкретных ледников зависят от многих их особенностей – размеров, строения, экспозиции, условий питания, высоты базиса оледенения и горного обрамления. На сокращение оказывают влияние сочетания факторов рельефа и климата, определяющих его строение, размеры, высотный диапазон и ориентацию относительно влагонесущих потоков. Сокращение ледников Горного Алтая наблюдалось на всём протяжении второй половины XX в. и в начале текущего столетия. К 2008 г. площадь ледников Катунского, Северо- и Южно-Чуйского хребтов сократилась на 27,4%. Сравнение космических снимков 2004 и 2012 гг. с историческими данными прошлого века позволяет сделать вывод об увеличении скорости сокращения ледников в последнее десятилетие в 1,5–2 раза. Отдельные крупные долинные ледники массива горы Белуха сократились за 1968–2012 гг. на 3,1–15,1 км².

Среднемноголетние характеристики ледниковых систем и результаты современных дистанционных и наземных исследований, цифровые модели рельефа и наборы разновременных космических снимков аккумулируются и визуализируются в рамках региональных ГИС-структур. Такие работы проведены для Кавказа (рис. 6). Нача-

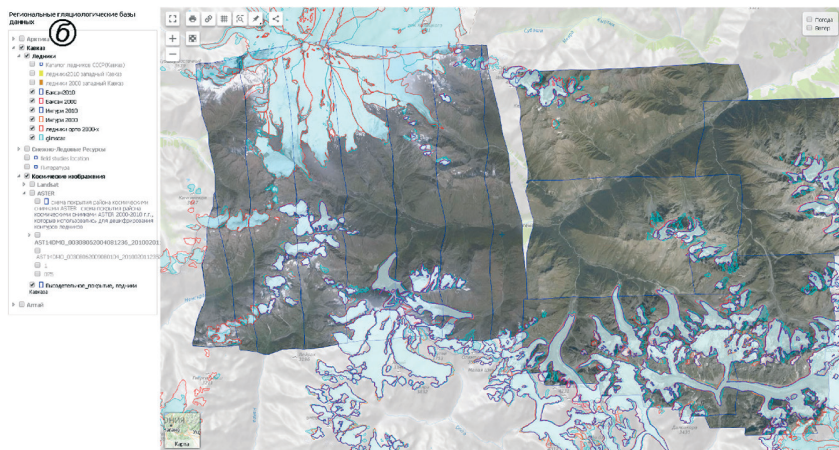


Рис. 6. Космические снимки высокого разрешения, результаты дешифрирования ледников в 2000 и 2010 гг. Бассейн р. Баксан на Кавказе

то формирование региональной базы гляциологических данных для Алтая и арктических архипелагов.

Такой подход открывает возможности для дальнейших исследований с использованием ГИС инструментов. Для ряда нивально-гляциальных характеристик, представленных региональными картографическими моделями, построены поля фоновой пространственной изменчивости, максимальные значения которой характеризуют области нестабильности. В горных районах они приурочены, как правило, к макросклонам, отличающимся наибольшей крутизной, где природные процессы наиболее активны и их изменчивость весьма интенсивна.

Ведущую роль в горных нивально-гляциальных комплексах на региональном уровне, как правило, играют ледниковые системы. Они оказывают существенное влияние на остальные элементы, связаны с ними прямыми и обратными связями. В целом структура ледниковой системы отражает структуру рельефа и климата региона. Эти структуры можно выявить при изучении полей, характеризующих климат рельеф и оледенение (Хромова, 1999). Для определения границ ледниковой зоны на основе геоинформационных преобразований были построены поля положительной разности оледенения как разности между полем максимального рельефа и полем высоты границы питания. Нулевая изолиния на этих картах выделила реальную ледниковую зону, благоприятную для существования ледников, и отдельные участки, где такое поле представ-

ляет собой гипотетическую поверхность. Поля положительной разности оледенения могут служить индикаторами условий, благоприятных для существования оледенения, и использоваться при организации нивально-гляциального мониторинга на региональном уровне. По картам коэффициентов корреляции выявлены пространственные особенности распределения тесноты связей и изменение соотношения условий накопления и расхода внутри региона. Показано, что при доминирующем и стабилизирующем влиянии орографии на пространственное распределение оледенения существуют районы, более чувствительные к климатическим изменениям, а в условиях преимущественного вклада условий накопления обнаружился участки, где существенное значение имеют условия расхода. Карты частных коэффициентов корреляции позволили говорить о противоположном влиянии условий накопления и расхода на положение высоты границы питания.

По данным наземных наблюдений построены ежегодные поля фоновых изменений положения концов ледников. Показано единство динамики системы оледенения. Временная тенденция колебаний ледников обнаруживает связь с ходом изменчивости условий аккумуляции (Хромова и др., 1997; Хромова, 1999). Исследование изменения площади ледников в разных горных районах России и основных тенденций изменений основных климатических параметров позволило выявить области повышения температур, которые совпали с основными районами оледенения, включая Кавказ, Алтай, Камчатку, Полярный Урал, горы Сибири, где наблюдается существенное сокращение ледников (Котляков и др., 2015).

Тенденции изменения летней температуры в последнем десятилетии (2001–2010 гг.) по сравнению с достаточно стабильным периодом 1951–1980 гг. также согласуются с более интенсивным сокращением площади ледников на Кавказе, Полярном Урале, Алтае.

Увеличения зимних осадков в районах оледенения за 1989–2001 гг. практически не наблюдалось, т.е. зимние осадки не компенсировали роль повышения летних температур в балансе массы ледников. Наибольший рост значений толщины снежного покрова наблюдается на Сахалине и в Приморье и затрагивает районы оледенения на Камчатке, хотя и не сказывается на общей тенденции сокращения площади ледников в этих районах. Наряду с этим, очевидное уменьшение максимальных снегозапасов наблюдалось в районах оледенения Кавказа, Алтая, гор Восточной Сибири, что, очевидно, влияет на повышении интенсивности убыли ледников в последнее десятилетие.

Заключение

Формирование информационного пространства и развитие методов геоинформационного картографирования для исследования криосферы представляет собой непрерывный процесс. Он берёт своё начало в середине прошлого века, когда создавался Каталог ледников СССР, и разворачивались работы по составлению Атласа снежно-ледовых ресурсов мира. Развитие геоинформационных технологий и дистанционных методов вывели этот процесс на новый технологический уровень. Созданная информационная основа в сочетании с современными подходами позволяет эффективно развивать систему гляциологических баз данных, интегрировать их в региональные и междисциплинарные проекты, развивать методы геоинформационного анализа пространственных данных.

Центральное место в системе гляциологических баз данных занимает электронный атлас «Снег и лед на Земле», представляющий собой систематическое собрание изолинейных карт, выполненных как целостное произведение в виде автономного программного продукта на компакт-диске.

Дальнейшие перспективы развития инфраструктуры пространственных гляциологических данных связаны с созданием единого гляциологического геопортала на базе современных облачных технологий, расширением и актуализацией региональных и тематических информационных структур.

В статье использованы результаты исследований, поддержанных РФФИ, РГО, программами фундаментальных исследований Президиума РАН «Природные катастрофы и адаптационные процессы в условиях изменяющегося климата и развития атомной энергетики», «Пространственное развитие России в XXI веке: природа, общество и их взаимодействие».

Литература

- Авсюк Г.А. Гляциология // Советская география. М.: Географгиз, 1960. С. 119–130.
- Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / Ред. В.М. Котляков. М.: Российская академия наук, 1997 а. Т. 1. 392 с.
- Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М.: Российской академии наук. 1997 б. Т. 2. Кн. 1. 263 с. Кн. 2. 270 с.

- Бакланов П.Я., Ермошин В.В., Комедчиков Н.Н., Кошкарев А.В., Краснопе-
ев С.М., Ротанова И.Н., Серебряков В.А., Тикунов В.С., Хромова Т.Е. Геоин-
формационные технологии для территориального планирования и
регионального управления // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС
и практический опыт. Материалы Международ. конф. 2011. С. 147–150.
- Виноградов О.Н., Кренке А.Н., Огановский П.Н. Руководство по составлению
Каталога ледников СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 155 с.
- Котляков В.М., Зверкова Н.М., Хромова Т.Е. Концепция гляциологической
геоинформационной системы // Изв. РАН. Сер. геогр. 1997. № 5. С. 125–136.
- Котляков В.М., Хромова Т.Е., Зверкова Н.М., Варнакова Г.М., Муравьев А.Я.
Гляциологическая картография от МГГ до МПГ // Материалы гляциол. ис-
следований. 2009. Вып. 107. С. 45–50.
- Котляков В.М., Хромова Т.Е., Носенко Г.А., Попова В.В., Чернова Л.П., Мура-
вьев А.Я., Рототаева О.В., Никитин С.А., Зверкова Н.М. Современные из-
менения ледников горных районов России. М.: Ин-т географии РАН, 2015.
288 с.
- Носенко Г.А., Никитин С.А., Хромова Т.Е. Изменение площади и объёма лед-
ников Горного Алтая (Россия) с середины XX в. по данным космических съём-
ок // Лёд и Снег. 2014. № 2 (126). С. 5–13.
- Носенко Г.А., Хромова Т.Е., Рототаева О.В., Шахгеданова М.В. Реакция лед-
ников Центрального Кавказа в 2001–2010 гг. на изменения температуры и
количества осадков // Лёд и Снег. 2013. № 1 (121). С. 26–33.
- Оледенение Северной Евразии в недавнем прошлом и ближайшем будущем /
Ред. В.М. Котляков. М.: Изд-во Академии наук, 2007. 366 с.
- Снег и лед на Земле: Электронный атлас. М.: Ин-т географии РАН, 2015. doi:
10.15356/DASAI0E2015/
- Хромова Т.Е. Геоинформационное моделирование нивально-гляциальных сис-
тем // Материалы гляциол. исследований. 1999. Вып. 86. С. 37–44.
- Хромова Т.Е., Медведев А.А. Инфраструктура пространственных гляциологи-
ческих данных // Лёд и Снег. 2014. № 4 (128). С. 117–128.
- Хромова Т.Е., Медведев А.А., Муравьев А.Я., Зверкова Н.М. Электронный атлас
«Снег и лёд на Земле» // Лёд и Снег. 2015. № 2 (130). С. 4–8.
- Хромова Т.Е., Чернова Л.П. Исследование факторов, влияющих на простран-
ственное распределение колебаний ледников восточного Памира в 1972–
1990 гг. // Материалы гляциол. исследований. 2003. Вып. 95. С. 168–174.
- Хромова Т.Е., Чернова Л.П., Глебова Л.Н. Реакция ледниковой системы Альп
на изменения климата // Материалы гляциол. исследований. 1997. Вып. 81.
С. 119–126.
- Электронная Земля. Программа фундаментальных исследований РАН. – М:
ВИНИТИ РАН, 2009. 478 с.
- Andreassen L., Paul F., Kääb A., Hausberg J. Landsat-derived glacier inventory for
Jotunheimen, Norway, and deduced glacier changes since the 1930s // The Cryo-
sphere. 2008. V. 2. № 2. P. 131–145

- Berthier E., Schiefer E., Clarke G.K.C., Menounos B., Rémy F. Contribution of Alaskan glaciers to sea-level rise derived from satellite imagery, ICESat // *Nature Geoscience*. 2010. V. 3. P. 92–95.
- Bhambri R., Bolch T., Chaujar R.K. Automated mapping of debris-covered glaciers in the Garhwal Himalayas using ASTER DEMs and multi-spectral data // *Remote Sensing of Environment*. 2011. V. 32. № 23. P. 8095–8119, doi: 10.1080/01431161.2010.532821.
- Bolch T.; Menounos B., Wheate R. Landsat-based Inventory of glaciers in Western Canada, 1985–2005 // *Remote Sensing of Environment*. 2010. V. 114. P. 127–137.
- Haritashya U., Bishop M., Shroder J., Bush A., Bulley H. Space-based assessment of glacier fluctuations in the Wakhan Pamir, Afghanistan // *Climatic Change*. 2009. V. 94. P. 5–18. doi: 10.1007/s10584-009-9555-9.
- Haerberli W. Historical evolution and operation aspects of worldwide glacier monitoring in Into the second century of worldwide glacier monitoring: prospects and strategies // *Studies and Reports in Hydrology*. № 56 / Eds. W. Haerberli, M. Hoelzle, and S. Suter. Paris: UNESCO Publishing, 1998. P. 36–52.
- Hoelzle M., Trindler M. Data management and application // *Into the second century of world glacier monitoring: prospects and strategies*. *Studies and Reports in Hydrology*. № 56 / Ed. W. Haerberli. Paris: UNESCO, 1998. P. 53–72.
- Kargel J., Abrams M., Bishop M., Bush A., Hamilton G., Jiskoot H., Kaab A., Kieffer H., Lee E., Paul F., Rau F., Raup B., Shroder J., Soltesz D., Stearns L., Wessels R., and the GLIMS Consortium. Multispectral imaging contributions to global land ice measurements from space // *Remote Sensing of Environment*. 2005. V. 99. № 1–2. P. 187–219.
- Khalsa S., Raup B., Barry R., Dyrgerov M., Khromova T. Space-based mapping of glacier changes using Aster and Gis Tools // *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2004. V. 42. № 10. P. 2177–2183.
- Khromova T., Osipova G., Tsvetkov D., Dyrgerov M., Barry R. Changes in glacier extent in the eastern Pamir, Central Asia, determined from historical data and aster imagery // *Remote Sensing of Environment*. 2006. V. 102. № 1–2. P. 24–32.
- Moussavi M., Zoj M., Valadan, Vaziri F., Sahebi M., Rezaei Y. A new glacier inventory of Iran // *Annals of Glaciology*. 2009. V. 50. P. 93–103.
- Müller F., Caflisch T., Müller G. (eds.). Instructions for the compilation and assemblage of data for a world glacier inventory. IAHS(ICS)/UNESCO report, Temporal Technical Secretariat for the World Glacier Inventory (TTS/WGI), ETH Zürich, Switzerland. 1977.
- Paul F., Andreassen L. A new glacier inventory for the Svartisen region, Norway, from Landsat ETM+ data: challenges and change assessment // *Journ. of Glaciology*. 2009. V. 55. № 192). P. 607–618.
- Paul F., Barrand N., Berthier E., Bolch T., Casey K., Frey H., Joshi S., Konovalov V., Le Bris R., Moelg N., Nosenko G., Nuth C., Pope A., Racoviteanu A., Rastner P., Raup B., Scharrer K., Steffen S., Winsvold S. On the accuracy of glacier outlines derived from remote sensing data // *Annals of Glaciology*. 2013. V. 53 (63). P. 171–182.

- Paul F., Barry R., Cogley J., Frey H., Haeberli W., Ohmura A., Ommanney C., Raup B., Rivera A., Zemp M. Recommendations for the compilation of glacier inventory data from digital sources // *Annals of Glaciology*. 2009. V. 50 (53). P. 119–126.
- Paul F., Bolch T., Kääb A., Nagler T., Nuth C., Scharrer K., Shepherd A., Strozzi T., Ticconi F., Bhambri R., Berthier E., Bevan S., Gourmelen N., Heid T., Jeong S., Kunz M., Lauknes T., Luckman A., Boncori J., Van Niel T. The glaciers climate change initiative: Algorithms for creating glacier area, elevation change and velocity products // *Remote Sensing of Environment*. 2015. № 162. P. 408–426.
- Paul F., Frey H., Le Bris R. A new glacier inventory for the European Alps from Landsat TM scenes of 2003: Challenges and results // *Annals of Glaciology*. 2011. P. 52 (59). P. 144–152.
- Paul F., Kääb A. Perspectives on the production of a glacier inventory from multi-spectral satellite data in Arctic Canada: Cumberland Peninsula, Baffin Island // *Annals of Glaciology*. 2005. V. 42. P. 59–66, doi: 10.3189/172756405781813087/
- Paul F., Kääb A., Maisch M., Kellenberger T., Haeberli W. The new remote-sensing-derived Swiss glacier inventory: I. Methods // *Annals of Glaciology*. 2002. V. 34. P. 355–361.
- Perennial ice and snow masses – a guide for compilation and assemblage of data for the World Glacier Inventory // *Technical Papers in Hydrology*, № 1. Paris: UNESCO, 1970. V. 56. P. 53–72.
- Pfeffer W., Arendt A., Bliss A., Bolch T., Cogley J., Gardner A., Hagen J., Hock R., Kaser G., Kienholz C., Miles E., Moholdt G., Paul F., Radic V., Rastner P., Raup B., Rich J., Sharp M. and the Randolph Consortium. The Randolph Glacier Inventory: a globally complete inventory of glaciers // *Journ. of Glaciology*. 2014. V. 60. P. 537–552.
- Racoviteanu A., Arnaud Y., Williams M., Ordonez J. Decadal changes in glacier parameters in the Cordillera Blanca, Peru, derived from remote sensing // *Journ. of Glaciology*. 2008. V. 54. № 186. P. 499–510.
- Racoviteanu A., Paul F., Raup B., Khalsa S., Armstrong R. Challenges and recommendations in mapping of glacier parameters from space: results of the 2008 Global Land and Ice Measurements from Space (GLIMS) workshop. Boulder, Colorado, USA // *Annals of Glaciology*. 2009. V. 53. P. 53–69.
- Raup B., Khalsa S.J.S. GLIMS data analysis tutorial 2010. Boulder, CO, University of Colorado. National Snow and Ice Data Center, digital media. P.15 www.glims.org/MapsAndDocs/guides.html.
- Raup B., Racoviteanu A., Khalsa S., Helm C., Armstrong R., Arnaud Y. The GLIMS geospatial glacier database: a new tool for studying glacier change // *Global and Planetary Change*. 2012. V. 56. P. 101–110.
- Shahgedanova M., Nosenko G., Khromova T., Muraveyev A. Glacier shrinkage and climatic change in the Russian Altai from the mid-20th century: An assessment using remote sensing and PRECIS regional climate model // *Journ. of Geophys. Research*. 2010. V. 115 (D16107)

Svoboda F., Paul F. A new glacier inventory on southern Baffin Island, Canada, from ASTER data: I. Applied methods, challenges and solutions // *Annals of Glaciology*. 2009. V. 50 (53). P. 11–21.

T.E. Khromova

GIS MAPPING FOR GLACIOLOGICAL STUDIES

The results of the development and application of GIS mapping methods for glaciological studies are presented in the paper. The strategy and methods for the glaciological section formation as a part of the geographical portal at the Institute of Geography RAS and the results of applying GIS tools for analyzing data on glacier systems, obtained both remotely and in situ, are considered.

С.В. Пьянков, А.Н. Шихов, Р.К. Абдуллин

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ
В ТЕМАТИЧЕСКОМ АТЛАСНОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ
(НА ПРИМЕРЕ АИС «ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ
ЯВЛЕНИЯ УРАЛЬСКОГО ПРИКАМЬЯ»)**

Введение

Согласно классическому определению, «атлас – это систематическое собрание географических карт, выполненное по общей программе как целостное произведение» (Сваткова, 2002). С момента своего появления атласы прошли длительный путь развития. Благодаря внедрению ГИС-технологий и развитию геоинформационного картографирования, помимо традиционных печатных атласов появились и их электронные аналоги, отличающиеся интерактивностью и большими функциональными возможностями для работы с картами. В зависимости от функциональных возможностей, различают пять типов электронных атласов (Капралов и др., 2004).

К пятому (высшему) типу электронных атласов относятся интерактивные атласные информационные системы (Тикунов, Яблоков, 2013). Обычно под атласной информационной системой (АИС) понимают информационную систему, созданную для определённой территории или по определённой тематике, где доминирующую роль играют карты, а для пользователей имеются дополнительные возможности по составлению картографических изображений (Ormeling, 1996). АИС обладает всеми свойствами предыдущих типов электронных атласов, от простой визуализации до возможностей пространственно-статистического анализа данных, расширенного моделирования, составления карт и геоизображений с применением широкого набора изобразительных средств. Спектр тематических направлений создания атласных информационных систем достаточно широк. В качестве примеров можно привести АИС поддержки устойчивого развития территорий (Тикунов, 2002; Яблоков, Тикунов, 2016), АИС управления природопользованием в Байкальском регионе (Тикунов, Яблоков, 2013), демографическую АИС России (Тимонин, 2013), АИС Азиатской России (Батуев и др., 2015).

Исследования в данной области в России ведутся научными школами атласного картографирования географического факультета МГУ и Института географии СО РАН.

На кафедре картографии и геоинформатики Пермского государственного национального исследовательского университета накоплен значительный опыт в области комплексного и тематического атласного картографирования. В 2012 г. под руководством зав. кафедрой картографии и геоинформатики С.В. Пьянкова был подготовлен и издан первый комплексный Атлас Пермского края, предназначенный для представителей органов государственной власти федерального, регионального уровней и местного самоуправления (Атлас, 2012). В настоящее время ведётся работа над созданием комплексного атласа Пермского края для обеспечения учебных курсов в высших учебных заведениях края (Бажукова и др., 2016). В 2016 г. был подготовлен и издан Атлас опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья – первый тематический атлас, созданный научным коллективом кафедры (Пьянков и др., 2016). В этом атласе представлены результаты многолетних исследований в области мониторинга, моделирования, картографирования пространственно-временного распределения опасных гидрометеорологических явлений на территории Уральского Прикамья.

Также в течение ряда лет на кафедре картографии и геоинформатики ведутся работы по созданию тематических геоинформационных систем и картографических веб-сервисов. Основными результатами исследований в данном направлении стало создание и публикация в сети Интернет следующих картографических сервисов: «Гидротехнические сооружения Пермского края» (Шавнина и др., 2011); «Историко-культурное наследие Пермского края» (Корниенко и др., 2015); «Смерчи в лесной зоне России» (Шихов, Перминов, 2016). В настоящее время ведётся разработка геопортала Пермского края в интересах органов государственной власти регионального уровня.

Синтез накопленного опыта в области атласного картографирования, современных технологий создания картографических веб-сервисов, а также наличие обширной, актуальной и структурированной картографической базы данных позволили перейти к созданию высшей формы электронного атласа – атласной информационной системы. В качестве объекта исследования были выбраны опасные гидрометеорологические явления, актуальность изучения которых

в период современных изменений климата не вызывает сомнения. Создание АИС «Опасные гидрометеорологические явления Уральского Прикамья» является логическим продолжением работы над печатной версией Атласа (Пьянков и др., 2016). Этот проект интегрирует широкий спектр современных подходов к анализу и обработке разнородной пространственной информации средствами ГИС и веб-технологий.

Выполненные исследования

Как в России, так и за рубежом накоплен значительный опыт в области атласного картографирования опасных природных (в том числе гидрометеорологических) явлений. Большинство изданных атласов посвящены анализу рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, вызываемых опасными природными явлениями. Среди них известны атласы глобального (Shi, Kasperson, 2015) и национального (Атлас..., 2005; Shi, 2011) уровней. В России наиболее значимым фундаментальным картографическим произведением в данной области является Атлас природных и техногенных опасностей и рисков (Атлас..., 2005), и аналогичные атласы, изданные для каждого федерального округа (Атлас..., 2008). Эти атласы созданы коллективом авторов при поддержке МЧС России и изданы в традиционной печатной форме. В перечисленных атласах представлены различные виды карт опасных природных явлений: карты режимных характеристик явлений, карты мест фиксации явлений, карты причинённого опасными явлениями ущерба, а также карты опасности, риска и вероятности возникновения явлений и вызванных ими чрезвычайных ситуаций. Наибольшее распространение получили аналитические карты, на которых отображены различные характеристики (повторяемость, интенсивность) отдельных видов опасных природных явлений, реже создаются синтетические карты на основе интеграции множества частных показателей и (или) серий аналитических и комплексных карт.

Помимо этого, для решения задач мониторинга и прогнозирования опасных природных явлений и вызываемых ими чрезвычайных ситуаций, в России и за рубежом разработано множество картографических веб-сервисов (большинство из них – на нацио-

нальном уровне). Чаще всего эти сервисы узко специализированы, т.е. направлены на мониторинг и прогноз одного или нескольких видов опасных явлений. В России активнее всего работы в данном направлении ведут научно-исследовательский центр «Планета» и Инженерно-технологический центр «СканЭкс». В качестве примера действующего картографического сервиса мониторинга и прогнозирования опасных природных явлений с широкими функциональными возможностями можно отметить региональную систему мониторинга и прогнозирования паводков «ГИС-Амур», которая основана на автоматизированных средствах гидрологических прогнозов и технологиях веб-картографирования (Фролов и др., 2016).

На региональном уровне исследований в области картографирования опасных гидрометеорологических явлений известно сравнительно немного. Это может быть связано с дефицитом исходной информации о случаях таких явлений, а также слабой разработанностью методических аспектов картографирования. Карты опасных гидрометеорологических явлений представлены в некоторых региональных атласах более широкой тематики (Иркутская..., 2004). До 2016 г. в России не было создано региональных атласов, целиком посвящённых тематике опасных природных (в том числе гидрометеорологических) явлений, первый подобный атлас был издан авторами настоящей работы в 2016 г. для территории Уральского Прикамья (Пьянков и др., 2016).

Методология исследований

В основу разработанной Атласной информационной системы положены результаты многолетних исследований авторского коллектива в области мониторинга, моделирования, картографирования пространственно-временного распределения опасных гидрометеорологических явлений. Атласная информационная система обеспечивает получение комплексной пространственной характеристики различных видов опасных явлений, наблюдающихся на территории Уральского Прикамья на основе регулярно обновляемых данных, а также расширенные возможности визуализации и анализа данных.

Информационная основа такой системы включает базовую географическую основу карт и тематические данные об опасных явле-

ниях. Массив данных об опасных гидрометеорологических явлениях формируется из нескольких источников, различающихся критериями и подходами к формированию данных, продолжительностью наблюдений, а также пространственным и временным разрешением, поэтому они не всегда сопоставимы друг с другом. Для информационного обеспечения атласной информационной системы были использованы следующие источники данных:

- данные наблюдательной сети Росгидромета за период с 1981 г. по настоящее время;
 - база данных гидрологической ГИС «Бассейн Воткинского водохранилища» (Калинин, Пьянков, 2002);
 - база данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» об опасных явлениях, принёсших социальный и экономический ущерб (за период с 1990 г. по настоящее время);
 - европейская база данных об опасных явлениях погоды (ESWD, Dotzek et al., 2009);
 - данные космической съёмки со спутников Terra/Aqua MODIS, LANDSAT и тематические продукты их обработки за период с 2001 г. по настоящее время;
 - данные реанализа CFSR и результаты мезомасштабного моделирования атмосферных процессов при развитии опасных явлений погоды с помощью модели WRF (Weather Research and Forecasting);
- Для систематизации, интеграции и хранения разнородной информации об опасных гидрометеорологических явлениях перечисленные данные организованы в картографической базе данных. С учётом особенностей исследуемых явлений разработана ее типовая логическая структура (рис. 1). Для управления картографической базой данных используется СУБД PostgreSQL.

Интерфейс доступа к атласной информационной системе реализован в виде картографического веб-сервиса. Аппаратно-программная структура системы «Опасные гидрометеорологические явления Уральского Прикамья» построена на основе архитектуры «клиент-сервер», типичной для обычных веб-приложений, но с добавлением компонентов ГИС. Для публикации пространственных данных в сети Интернет, а также организации доступа к ним пользователей применяется установленный на веб-сервер ГИС-сервер ArcGIS Server 10.x, публикация данных выполняется из настольного программного обеспечения ArcGIS Desktop 10.x. Доступ пользова-

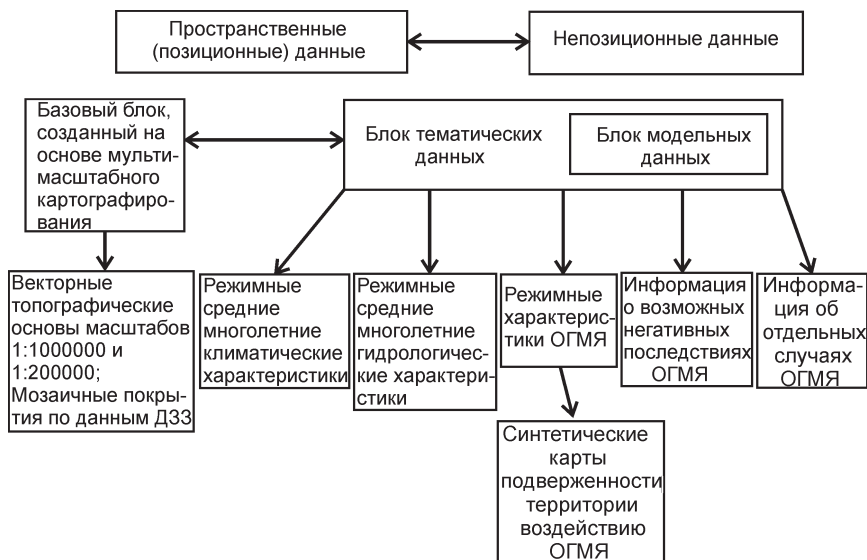


Рис. 1. Логическая структура картографической базы данных АИС «ОГМЯ Уральского Прикамья»

телей этой системой через сеть Интернет организован при помощи клиентского веб-приложения, реализованного на базе технологий HTML5, CSS3 и JavaScript.

Для тематического наполнения АИС разработан комплекс авторских методических приёмов и алгоритмов картографирования пространственно-временного распределения опасных гидрометеорологических явлений на региональном уровне. Разработанные алгоритмы направлены на устранение проблем, возникающих при картографировании этих явлений на региональном уровне вследствие дефицита исходной информации, неоднократного изменения критериев опасных явлений, пропуска наблюдательной сетью явлений локального характера. На основе данных приёмов и алгоритмов построены карты режимных характеристик опасных явлений и синтетические карты, представленные в атласной информационной системе.

Пространственно-временное распределение опасных явлений можно рассматривать как повторяемость (число случаев за период времени), а также как плотность (число случаев на единицу площади за период времени). Для явлений, характеризующихся значительным охватом территории (экстремальная температура воздуха, сильные

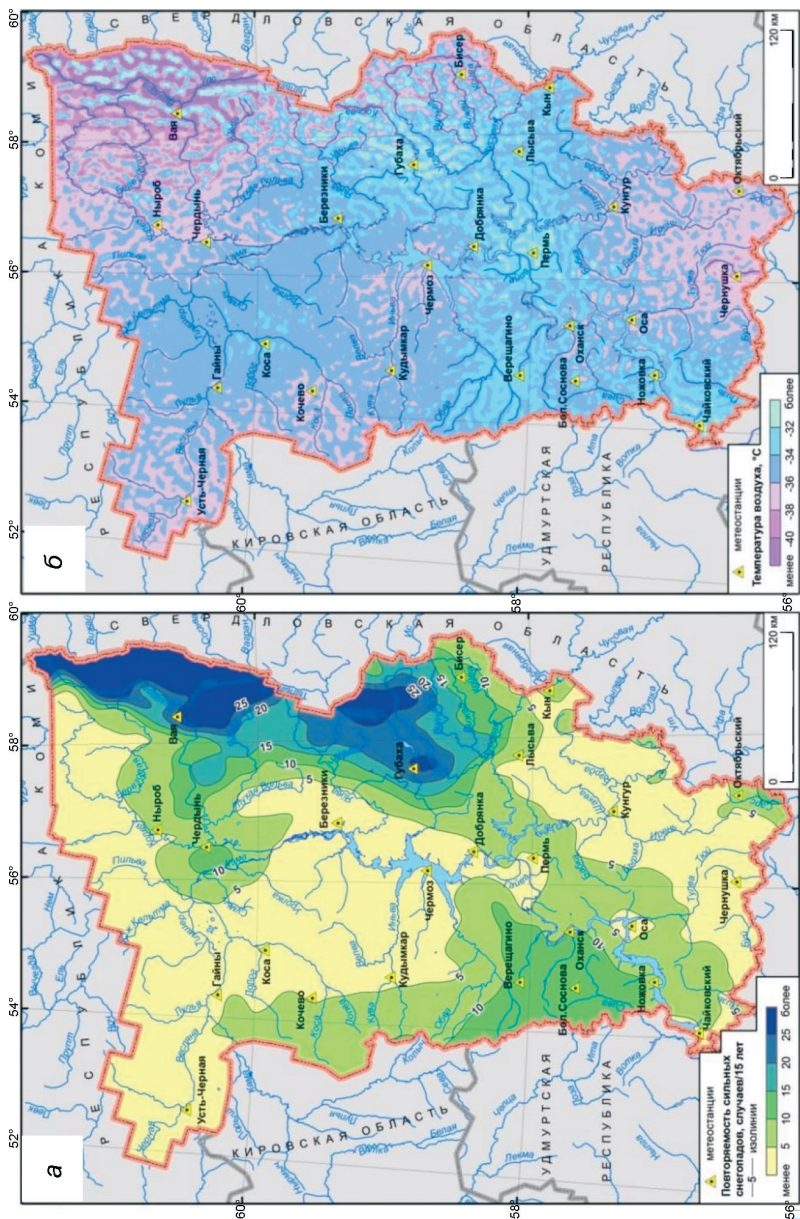


Рис. 2. Карты режимных характеристик опасных явлений погоды: *а* – повторяемость сильных снегопадов, *б* – среднегодовой минимум температуры воздуха

осадки и др.), по данным сети метеостанций оценивается повторяемость, а также средняя и максимальная интенсивность. Для локальных явлений конвективного характера (шквалы, крупный град, смерчи) на мелких масштабах оценивается плотность пространственного распределения случаев, которые рассматривались как точечные события. В качестве исходной информации для таких карт используются данные наблюдательной сети, а также информация об ущербе, данные космической съёмки и продукты их обработки.

Карты повторяемости и интенсивности построены для таких явлений, как сильная жара, сильные морозы, сильные дожди и сильные снегопады на основе интерполяционных методов, с учётом выявленных зависимостей от основных морфометрических характеристик рельефа (высоты местности, угла наклона и общей кривизны склонов). Более подробно использованная методика описана в работе (Абдуллин, Шихов, 2016). Примеры полученных карт режимных характеристик опасных явлений приведены на рис. 2.

Плотность пространственного распределения оценивалась для локальных конвективных опасных явлений (шквалы, крупный град, смерчи) за 2001–2015 гг. Места наблюдения этих явлений были отмечены в виде точек, с указанием числа зафиксированных случаев явлений в каждой точке. Для расчёта плотности полученных точечных событий использовался алгоритм плотности ядер (kernel density) модуля Spatial Analyst программного пакета ArcGIS. При расчёте плотности учитывалась зависимость числа зафиксированных опасных конвективных явлений от плотности сети наблюдений на исследуемой территории (рис. 3, а).

Данные о случаях конвективных явлений, не зафиксированных наблюдательной сетью, были существенно дополнены на основе идентификации вызванных ими ветровальных нарушений лесного покрова. Для этого использован многолетний ряд космических снимков Landsat и тематические продукты их обработки: Global Forest Change Map (Hansen et al., 2013) и Eastern Europe Forest Cover Change (Potapov et al., 2015), содержащие информацию о нарушениях лесного покрова с 1985 по 2014 г. с детальностью 30 м. Методика идентификации ветровальных нарушений лесного покрова, вызванных смерчами, рассмотрена в работе (Шихов, Тарасов, 2016). Всего на основе анализа данных о ветровалах было идентифицировано 12 случаев смерчей и 11 случаев шквалов, на общей площади свыше 30 тыс. га.

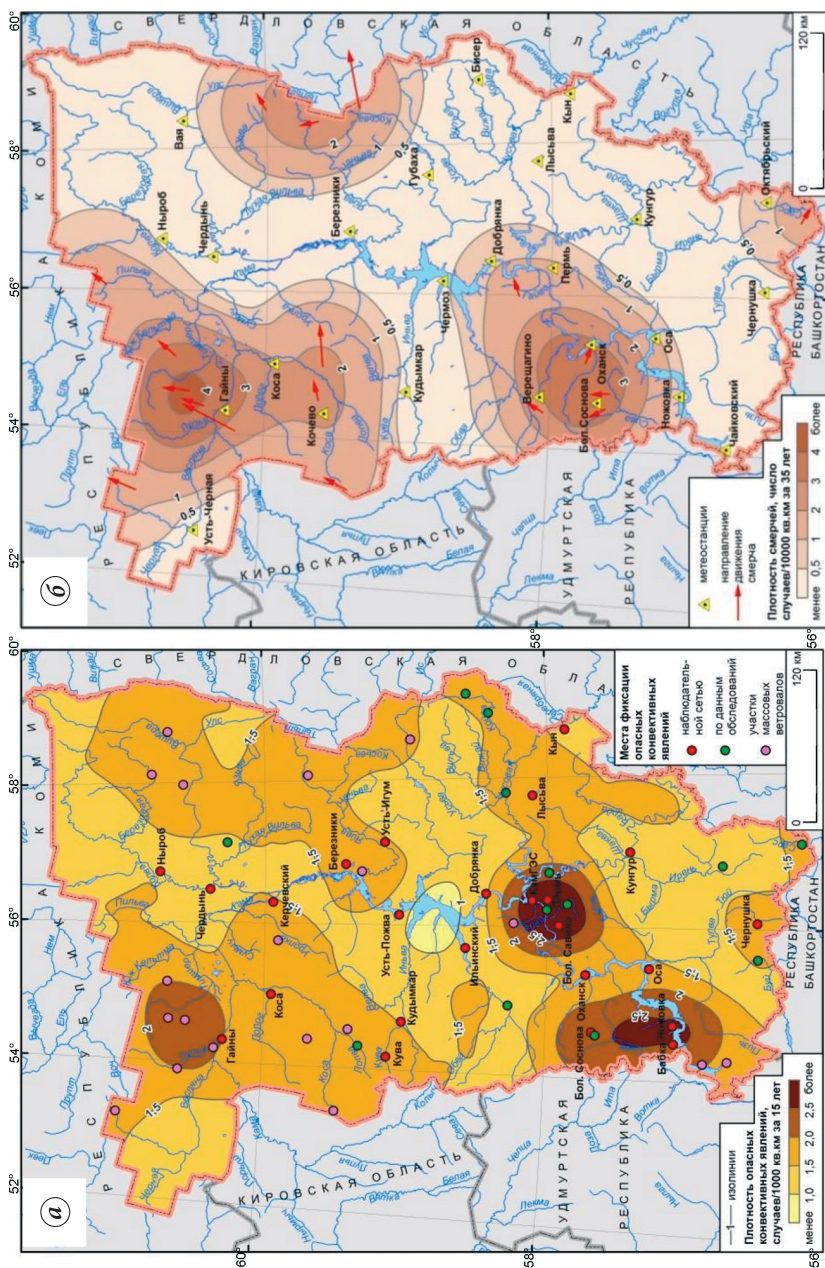


Рис. 3. Пространственное распределение локальных конвективных явлений: а – все случаи, б – только случаи смерчей

Данные об этих случаях также представлены в атласной информационной системе. Пространственное распределение всех случаев смерчей (включая выделенные по результатам анализа ветровалов и по другим источникам) показано на рис. 3, б.

На основе многолетних данных о случаях опасных метеорологических явлений в Пермском крае были также созданы синтетические карты – карта интегральной оценки повторяемости климатических экстремумов и районирование территории по преобладающим видам опасных гидрометеорологических явлений. Карта повторяемости климатических экстремумов была создана на основе метода взвешенной интегральной балльной оценки. В качестве весовых показателей использовались данные о факте наличия или отсутствия ущерба от различных видов опасных явлений, произошедших на всей территории региона, и соотношение их повторяемости.

Районирование территории по преобладающим видам опасных метеорологических явлений было проведено экспертным методом, а также на основе пространственного кластерного анализа (рис. 4, а). Экспертное районирование основано на сравнении повторяемости опасного явления в каждой ячейке с его средним значением и стандартным отклонением для каждого типа опасного явления. Автоматизированное районирование было выполнено средствами инструмента «Анализа группировки» программного пакета ArcGIS, который проводит кластеризацию объектов на основе атрибутивной информации с указанием пространственных ограничений, позволяющих получать компактные, непрерывные или близкие в пространстве кластеры (рис. 4, б). Более подробно данный вопрос рассмотрен в работе (Абдуллин, 2017).

Результаты исследования. Содержание и функциональные возможности атласной информационной системы

На основе описанной выше картографической базы данных, аппаратного и программного обеспечения, созданных алгоритмов картографирования опасных гидрометеорологических явлений на региональном уровне реализован ряд функциональных возможностей атласной информационной системы. При разработке функциональных возможностей атласной информационной системы учи-

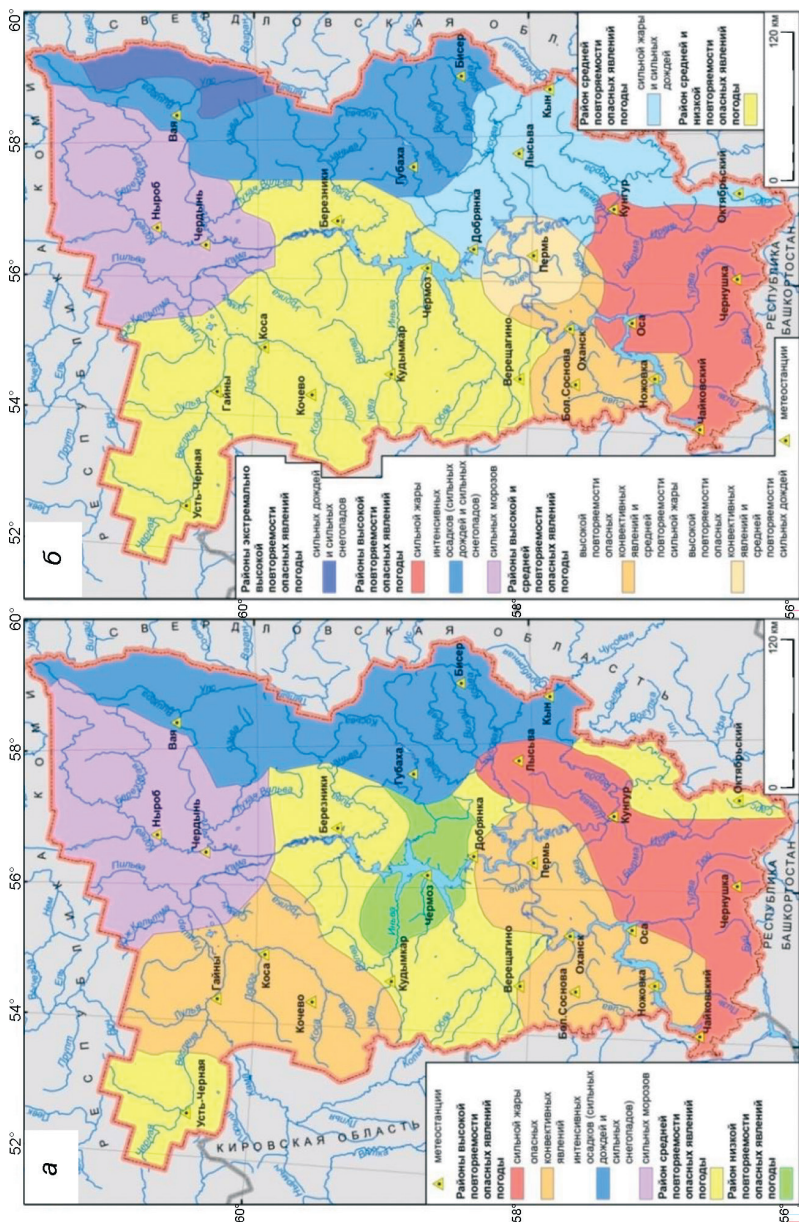


Рис. 4. Районирование территории Пермского края по преобладающим видам опасных метеорологических явлений: *а* – экспертное, *б* – полученное методом пространственного кластерного анализа

тывался также круг потенциальных пользователей этой системы, который включает специалистов в области картографии и геоинформатики, метеорологии, гидрологии, экологии и природопользования, управления рисками чрезвычайных ситуаций природного характера, а также студентов ВУЗов соответствующих направлений. Доступ к атласной информационной системе реализован в виде веб-приложения, которое опубликовано в сети Интернет по адресу <http://maps.psu.ru/ais/>. Атласная система в наглядной и интерактивной форме предоставляет широкому кругу пользователей доступ к сведениям о климатическом и гидрологическом режиме территории, а также о пространственно-временном распределении опасных гидрометеорологических явлений.

Атласная информационная система «ОГМЯ Уральского Прикамья» имеет все основные функциональные возможности, соответствующие высшему типу электронных атласов:

- *визуализация пространственного распределения ОГМЯ* с применением различных способов картографического изображения, а также анимированных геоизображений;
- *визуализация статистических данных* (многолетних рядов наблюдений, распределения типов ОГМЯ в пределах всей рассматриваемой территории и отдельных районов, а также по отдельным метеостанциям) с помощью структурных и столбчатых диаграмм;
- *отображение данных космической съёмки* различного пространственного разрешения, как для всей рассматриваемой территории (в качестве базовой картографической основы), так и на объектовом уровне (например, визуализация зон затопления при прохождении половодья);
- *основные инструменты навигации по карте*, включая масштабирование изображения, поиск объектов на карте и визуализацию его результатов, картометрические средства (расчет расстояний и площадей);
- *доступ к атрибутивным данным*, включая поиск данных о случаях ОГМЯ на территории региона из Базы данных опасных явлений погоды в Пермском крае (<http://map.psu.ru/search.aspx>) и Европейской базы данных опасных явлений погоды ESWD (Dotzek et al., 2009). Таким образом, в атласной информационной системе ОГМЯ реализована интеграция со сторонними базами данных, как российскими, так и зарубежными;

- *возможности проектирования и создания картографических изображений* из набора слоёв. Реализован инструмент создания картограмм по числу случаев ОГМЯ, а также динамических карт повторяемости и интенсивности опасных явлений по пяти летним временным интервалам (с 2001 г. по текущее время, с шагом в 1 год).

По умолчанию в рабочем окне атласной информационной системы отображается мультимасштабная базовая карта, которая является подложкой для тематической составляющей системы и визуальной основой картографического веб-сервиса. Поверх базовой карты пользователь имеет возможность отобразить представленные в системе тематические данные, которые логически организованны в соответствии с содержанием и структурой картографической базы данных. В интерфейсе веб-приложения представлены вкладки «Карты», «Легенда» и «Опасные явления», на каждой из которых реализовано управление отображением карт. На вкладке «Карты» располагается несколько групп тематических карт: режимные характеристики опасных явлений (11 карт); режимные климатические характеристики (14 карт); режимные гидрологические характеристики (10 карт); синтетические карты (карта повторяемости климатических экстремумов и карта районирования территории региона по преобладающим видам опасных явлений).

В зависимости от тематического содержания карты, поверх неё отображаются метеостанции или гидропосты, при идентификации которых в рабочем окне веб-приложения появляется информация о пункте наблюдательной сети. Пользователь имеет возможность визуализировать многолетние ряды различных климатических и гидрологических характеристик (с 1981 г. по настоящее время для метеостанций и с 1972 по 2002 г. для гидропостов) в виде графиков и диаграмм (рис. 5). Построение графиков выполняется на базе JavaScript библиотеки Chart.

На вкладке «Легенда» пользователю представлены условные обозначения отображаемой в окне тематической карты (или базовой карты).

Вкладка «Опасные явления» предоставляет пользователю доступ к данным о зафиксированных случаях опасных явлений на территории региона, а также информацию об их негативных последствиях. При отображении мест фиксации опасных явлений (метеостанций,

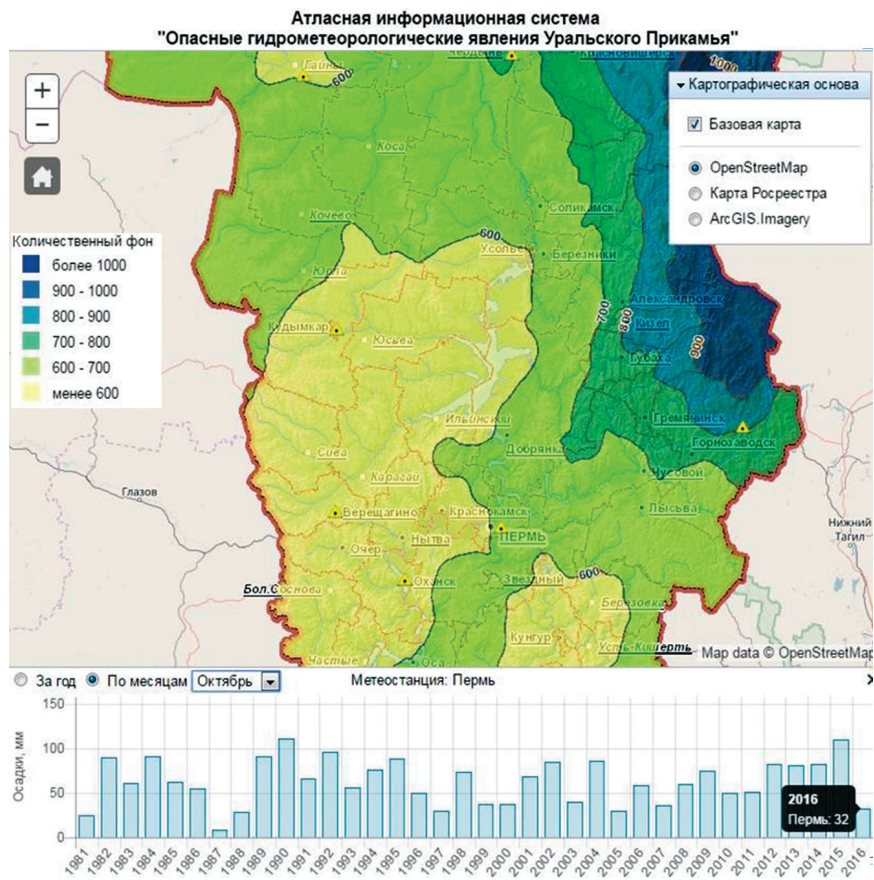
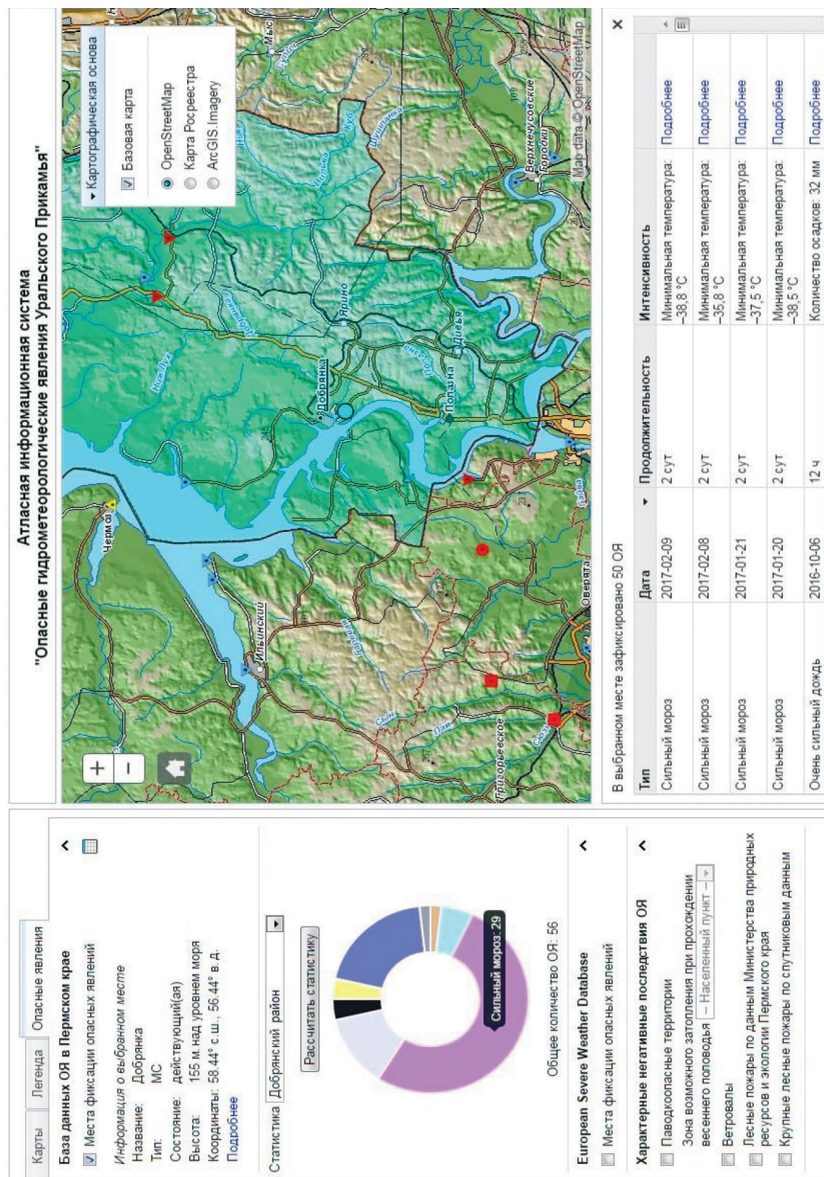


Рис. 5. Отображение тематических карт и многолетних рядов климатических данных в атласной информационной системе «ОГМЯ Уральского Прикамья»

гидропостов, населённых пунктов, участков массовых ветровалов) имеется возможность их идентификации и просмотра в табличной форме списка случаев опасных явлений за период с 1990 г. по текущее время в данном пункте (рис. 6).

Для поиска и анализа данных созданы инструменты формирования атрибутивных запросов (выборки случаев опасных явлений по видам, временному периоду, по местам фиксации, продолжительности и интенсивности). На основе данных об опасных явлениях погоды и местах фиксации можно получать структурные диаграммы, характеризующие соотношение различных видов опасных явлений



В выбранном месте зафиксировано 50 ОЯ

Тип	Дата	Продолжительность	Интенсивность
Сильный мороз	2017-02-09	2 сут	Минимальная температура: -38,8 °С Подробнее
Сильный мороз	2017-02-08	2 сут	Минимальная температура: -35,8 °С Подробнее
Сильный мороз	2017-01-21	2 сут	Минимальная температура: -37,5 °С Подробнее
Сильный мороз	2017-01-20	2 сут	Минимальная температура: -38,5 °С Подробнее
Очень сильный дождь	2016-10-06	12 ч	Количество осадков: 32 мм Подробнее

Рис. 6. Просмотр информации о случаях опасных явлений в атласной информационной системе

по метеостанциям, муниципальным образованиям региона, а также по всему Пермскому краю (см. рис. 6), а также картограммы по муниципальным районам. На вкладке «Опасные явления» представлены также данные о характерных негативных последствиях воздействия опасных гидрометеорологических явлений. Они включают в себя информацию о лесных пожарах и ветровалах за период с 2001 г., а также о зонах возможного затопления населённых пунктов при прохождении весеннего половодья разной обеспеченности.

Заключительный блок информации на вкладке «Опасные явления» представлен данными о выдающихся случаях этих явлений. Например, сведения об аномально высоком половодье весной 2016 г. включают фрагменты космических снимков зон затопления, а также результаты расчёта динамики процесса снеготаяния, площади заśnieженности и поступления талых вод на водосборы с суточным шагом (визуализированные в виде анимированного изображения). Для расчёта характеристик снежного покрова использована методика (Калинин и др., 2015).

Заключение

Создание атласной информационной системы «Опасные гидрометеорологические явления Уральского Прикамья» стало возможным на основе синтеза классических подходов в области атласного картографирования, современных технологий создания картографических веб-сервисов, а также результатов многолетних исследований в области мониторинга опасных гидрометеорологических явлений. Разработанная атласная информационная система соответствует основным критериям высшего типа электронных атласов, сформулированным ведущими российскими научными школами в области атласного картографирования. Предложенные подходы к проектированию, созданию и информационному наполнению атласных информационных систем универсальны и могут быть использованы для любых регионов со сходными природно-климатическими условиями. Полученные результаты также могут использоваться в системе поддержки принятия решений в области управления рисками возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера, в частности при разработке паспортов безопасности муниципальных

образований и при оценке воздействия опасных гидрометеорологических явлений на природные ресурсы и экономику.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (проект № 16-05-590056-р-а)

Литература

- Абдуллин Р.К. Региональная атласная информационная система опасных гидрометеорологических явлений (на примере Уральского Прикамья). Дисс. канд. техн. наук. Пермь, 2017. 151 с.
- Абдуллин Р.К., Шихов А.Н. Математико-картографическое моделирование пространственно-временного распределения опасных явлений погоды // Геодезия и картография. 2017. № 2 С. 26–32.
- Атлас Пермского края / Под ред. А.М. Тартаковского. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2012. 124 с.
- Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / Под ред. С.К. Шойгу. М., Дизайн. Информация. Картография, 2005. 270 с.
- Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций: Российская Федерация. Приволжский федеральный округ / Под ред. С.К. Шойгу. М., Дизайн. Информация. Картография, 2008. 323 с.
- Бажукова Н.В., Киселева Е.С., Ташкинова А.Н., Черепанова Е.С. Комплексное картографическое обеспечение учебного курса «География Пермского края» для высшей школы // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2016. № 5. С. 3–7.
- Батуев А.Р., Ермошин В.В., Конева И.В., Лопаткин Д.А., Петрищев В.П. Азиатская Россия: от серии карт к атласной информационной системе // Атласное картографирование: традиции и инновации. Материалы X науч. конф. по тематической картографии. Иркутск, 2015. С. 5–8.
- Иркутская область: экологические условия развития // Под ред. В.В. Воробьева. Иркутск, 2004. 92 с.
- Калинин В.Г., Пьянков С.В. Гидрологическая геоинформационная система «Бассейн Воткинского водохранилища» // Метеорология и гидрология. 2002. № 5. С. 95–100.
- Калинин Н.А., Связзов Е.М., Шихов А.Н. Моделирование процессов снегонакопления и снеготаяния на водосборе Воткинского водохранилища с использованием модели WRF–ARW // Метеорология и гидрология. 2015. № 11. С. 57–68.
- Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. Основы геоинформатики: в 2 книгах. Кн. 2. М.: Академия. 2004. 480 с.

- Корниенко С.И., Круглова А.С., Пьянков С.В. Геопортал «историко-культурное наследие Пермского края» как новый полиинформативный источник и программно-технологический инструмент для реализации междисциплинарных исследовательских проектов // Информ. бюлл. Ассоциации «История и компьютер». Материалы междунар. конф. Барнаул, 2015. С. 87–92.
- Пьянков С.В., Шихов А.Н., Абдуллин Р.К. Атлас опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья. Пермский гос. нац. исслед. ун-т. Пермь. 2016. 116 с.
- Сваткова Т.Г. Атласная картография. М.: Аспект Пресс, 2002. 203 с.
- Тикунов В.С. Атласная информационная система «Устойчивое развитие России» // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2002. № 5. С. 21.
- Тикунов В.С., Яблоков В.М. Атласная информационная система для Байкальского региона // ИнтерКарто/ИнтерГИС. Материалы Междунар. конф. 2013. Т. 1 (19). С. 197–202.
- Тимонин С.А. Атласная демографическая информационная система России. автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М., 2013. 26 с.
- Фролов А.В., Асмус В.В., Борщ С.В., Вильфанд Р.М., Жабина И.И., Затягалова В.В., Кровотынцев В.А., Кудрявцева О.И., Леонтьева Е.А., Симонов Ю.А., Степанов Ю.А. «ГИС Амур» – система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 5–21.
- Шавнина Ю.Н., Пьянков С.В., Михайлов А.В., Немтин Г.Н., Соболева Е.Б. Анализ системы водоподпорных гидротехнических сооружений с использованием геоинформационных технологий // Пермь: Пермское книжное издательство, 2011. 208 с.
- Шихов А.Н., Перминов С.И. Создание веб-картографического сервиса «Смерчи в лесной зоне России» // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края. Пермь, 2016. С. 129–135.
- Шихов А.Н., Тарасов А.В. Идентификация случаев возникновения смерчей в лесной зоне по многолетним рядам данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 3. С. 84–94.
- Dotzek N., Groenemeijer P. Feuerstein B., Holzer A.M. Overview of ESSLs severe convective storms research using the European Severe Weather Database ESWD // Atmospheric Research. 2019. V. 93. P. 575–586.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O. Townshend J.R.G. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. V. 342. P. 850–853.
- Ormeling F. Functionality of electronic school atlases // Seminar on Electronic Atlases II, ICA Proc. on National and Regional Atlases. Prague, 1996. P. 33–39.
- Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Krylov A.M., McCarty J.L., Radeloff V.C., Hansen M.C. Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012

quantified from the full Landsat archive // Remote Sensing of Environment. 2015. V. 159. P. 28–43.

Shi P.J. Atlas of Natural Disaster Risk of China. Beijing: Science Press, 2011.

Shi P.J., Karspersen R. World Atlas of Natural Disaster Risk. Heidelberg: Springer, 2015. 368 p.

S.V. Pyankov, A.N. Shikhov, R.K. Abdullin

**MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES IN THEMATIC
ATLAS MAPPING (ON EXAMPLE OF THE AIS «HAZARDOUS
HYDROMETEOROLOGICAL EVENTS OF THE URAL
PRIKAMYE REGION»)**

The article presents a short review of the current state of atlas mapping in general, and the atlases of hazardous natural phenomena in particular. The main results obtained by the research team of the Cartography and Geoinformatics Department of the Perm State University in the scientific scope of atlas mapping are listed. It is presented the experience of developing the atlas information system. The approaches to the creation of the AIS information basis, as well as the methods and algorithms of its content formation are described. It is shown the main AIS functionality, including various methods of data visualization, connection to external databases, search and query generation and automated mapping (including analytical and synthetic maps). Approbation was carried out on example of the atlas information system "Hazardous hydrometeorological events of the Ural Prikamye region". The proposed approaches to the design, creation and content of atlas information system are universal and can be used for any regions with similar natural and climatic conditions.

Е.А. Прохорова, В.Н. Семин, А.В. Морозова

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЕЙ И СЕТЕЙ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ

Введение

В социально-экономических работах широко представлены исследования систем расселения и транспортной сети, включая историю образования и развития населённых пунктов и путей сообщений, а также их картографирование. Такие исследования актуальны в любое время, так как расселение всегда оказывало и продолжает оказывать влияние на социально-экономические процессы, происходящие на любой территории. Транспортная освоенность и конфигурация системы расселения – это те признаки, по которым можно судить о сформированности и степени зрелости хозяйственного комплекса и об уровне использования его ресурсного потенциала. Однако среди обилия социально-экономических исследований не так много работ, которые касаются совместного изучения пространственного распределения и развития сети населённых пунктов и транспортной сети, их взаимного влияния на развитие региона.

Процесс расселения сложен и меняется под воздействием множества внешних и внутренних факторов: экономических, природных, политических и исторических. Среди экономических факторов самый важный – пути сообщения. Развитие транспортной системы, как и развитие сети поселений, определяется совокупностью ряда факторов. И историческом прошлом первостепенное значение в формировании путей сообщения имели природные факторы. В дальнейшем на них влиял уровень экономического развития территории, внешняя торговля и геополитические факторы, а также капиталовложения, направляемые на развитие путей сообщения.

Изучение и картографирование сети поселений и транспортной сети, как правило, происходит в совокупности, что содействует разработке соответствующих стратегий и моделей для обеспечения устойчивого развития территорий. Система расселения как территориально целостная и функционально взаимосвязанная совокупность поселений

может быть представлена сетью отдельных точечных объектов и связующих её линейных элементов – путей сообщений. В этом отношении большое значение имеют картографические методы, постоянно усложняющиеся из-за использования новых информационных технологий.

Прошлые исследования транспортных сетей и расселения

Актуальность карт транспортных коммуникаций и расселения определяется необходимостью информационно обеспечить демографические, этнографические и социологические исследования. Такие карты уже давно занимают центральное место в системе отображения взаимосвязей природы и общества.

Принципы картографирования населения и транспорта были заложены ещё Н.Н. Баранским и А.И. Преображенским (1956, 1962). В дальнейшем теорию картографирования транспорта развивали Ю.А. Скопинцев (1970), Ю.Г. Саушкин (1973), И.В. Никольский, З.В. Самойленко (1973), И.В. Никольский (1978), В.Н. Бугроменко (1987). Эти работы касались выявления закономерностей, определяющих территориальные различия транспортных систем в зависимости от экономических особенностей районов, исследования территориальных транспортных структур.

В 1970–80-е годы возникли новые направления изысканий в области транспорта, связанные с исследованием пространственной структуры транспортных сетей и формирующих их пространственных процессов (Шлихтер, 1975, 1990; Taylor, 1984; Тархов, 1989). Эти исследования непосредственно были связаны с практическими нуждами экономики, но в картографии в 1990-е годы им уделялось очень мало внимания или совсем не уделялось.

В 2000-е годы стали разрабатываться программные документы комплексного характера (Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г., утверждённая распоряжением Правительства России от 11.06.2014 № 1032-р; Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г., утверждённая распоряжением от 17.06.2008 № 877-р). В них на первое место были поставлены общесоциальные и общеэкономические стратегические целевые ориентиры при интенсивном развитии транспортной системы. Таким образом, было определено направление исследований и

картографирования транспортных сетей для обеспечения социально-ориентированного развития страны.

Среди отечественных фундаментальных исследований выделяются работы С.А. Тархова, которые предлагают анализ конфигурации и топологии транспортных сетей. В его монографии «Эволюционная морфология транспортных сетей» проводится исследование пространственного строения транспортных сетей стран и регионов, а также процессов их роста и распада (Тархов, 2005). Среди зарубежных исследований всё больше появляется работ, которые используют геоинформационные технологии не только при производстве карт, но и в процессе изучения объектов и выбора решений при разработке их содержания. Такие разработки с использованием косвенной информации, накапливаемой геоинформационными системами, представлены в работе «Картографирование динамики населения с применением данных мобильных телефонов» (Deville et al., 2014).

В настоящее время всё больше внимания уделяется изучению и картографированию транспортно-географических отношений: транспортному тяготению; транспортной близости или удалённости; транспортной доступности; транспортной проходимости (проницаемости) территории; пространственной неравномерности в распределении транспортных узлов и потоков (Василевский, Чижов, 1971; Полян, Трейвиш, 1988; Бугроменко, 2010; Строева, Слободчикова, 2016). При этом картографирование транспортных сетей чаще всего сводится к количественному анализу и изучению плотности дорог и транспортной доступности различных территорий.

Первые известные карты населения появились в начале XX в.: в 1923 г. была создана «Дазиметрическая карта Европейской России» В.П. Семенова Тянь-Шанского, а в 1929 г. «Обзорная карта плотности населения СССР» В.А. Каменецкого. С конца 1920-х годов изучение населения в отечественной географии развивалось медленно, и это тормозило формирование географии населения в нашей стране как самостоятельного раздела географии. Современные основы географического изучения населения и расселения были заложены лишь в 1950–70-х годах в трудах С.А. Ковалева (1963), Г.М. Лаппо (1974), В.В. Покшишевского (1978), А.И. Алексеева с соавторами (2016). Существенный сдвиг в картографировании населения произошёл после проведения переписи 1959 г., по результатам которой была создана «Карта населения СССР» В.П. Коровицына.

Во второй половине XX в. были проведены работы по картографированию и анализу потенциала поля расселения (Евтеев и др., 1974), изучению проблемы взаимосвязанного развития транспорта и расселения (Гольц, 1981), разработке методов выделения опорного каркаса расселения (Полян, 1988), картографированию населения и расселения (Евтеев, 1987). В конце столетия были проведены фундаментальные исследования по расселению С.А. Ковалева и Н.Я. Ковальской (1980), Д.Н. Лухманова (1999), опыт теории расселения обобщён в монографии В.В. Владимирова и Н.И. Наймарка (2002), созданы картографические произведения по теме населения в серии карт для высшей школы.

В настоящее время большое количество исследований связано с изучением пространственного распределения населения и его картографированием. Тематика работ очень разнообразна: это и региональные проблемы на примере Московской агломерации (Махрова и др., 2012), и широкомасштабное исследование изменения сельского расселения в России в конце XX – начале XXI вв. (Алексеев, Сафонов, 2015). В работах В.И. Переведенцева (1975), Б.С. Хорева и В.Н. Чапека (1978), Ж.А. Зайончковской (1993), М.С. Савоскул (1998) были заложены основы пространственного изучения и картографирования миграции населения во второй половине XX в. Обобщение историко-географических методов изучения расселения позволило Д.Н. Лухманову создать карты генетических типов и планировочных форм населённых пунктов Алтайского края, им же составлены карты динамики численности сельского населения за разные межпереписные периоды с 1926 по 1989 г. (Лухманов, 1999). Изображение особенностей эволюции расселения в этом исследовании учёный увязал с широким кругом факторов, в первую очередь, местоположением поселений, выполняемыми функциями, миграционными процессами.

При создании тематических карт транспорта всегда существовала сложность взаимной увязки содержания с населёнными пунктами; этим обусловлена многофакторность связей внутри транспортной системы, трудность выбора параметров и критериев оценки для её характеристики. Такие карты как «Единая транспортная сеть России и сопредельных стран» масштаба 1:33 000 000 (2015) и «Пути сообщения России и сопредельных государств», 1:3 500 000 (2016) ближе к общегеографическим по своему содержанию, они не увязывают изображение путей сообщений с характеристиками насе-

лѐнных пунктов, не предоставляют информацию о транспортных узлах. Тематических карт транспорта, созданных на всю территорию России в конце XX – начале XXI вв. совсем не много. Среди них «Транспортная сеть СССР» масштаба 1:4 000 0000 для высшей школы (1985); изображение транспортной сети на «Эколого-географической карте России» масштаба 1:4 000 000 (1996); «Транспорт и его влияние на природную среду», масштаба 1: 60 000 000 в атласе «Природа и ресурсы Земли» (1998).

Методика исследований. Опорные сети

Формы расселения основаны на устойчивых связях с соседними населѐнными пунктами и непосредственном участии путей сообщений, которые развиваются вместе с изменением системы расселения. Вдоль транспортных магистралей располагаются промышленные предприятия, трансформируясь в дальнейшем в промышленные узлы и центры; их возникновение создаѐт оптимальные условия для формирования крупных транспортных узлов. Сеть узлов и населѐнных пунктов, от размещения которых зависят направления и мощность основных грузовых и пассажирских потоков, играет важную роль в развитии транспортной системы и должна быть соответствующим образом представлена на карте.

В случае совместного изучения населения и транспортной сети населѐнные пункты рассматриваются как транспортные узлы и представляют сформированный вместе с сетью автомобильных и железных дорог опорный каркас расселения – важнейшую составную часть территориальной структуры экономики и территориальной организации жизни общества в любом регионе.

Транспортная сеть (еѐ конфигурация, развитие и функционирование) не только соединяла всегда опорные центры разного иерархического уровня, но и притягивала население и разнообразные формы хозяйственной деятельности (Лекомцев, 2010). Вслед за ростом количества населѐнных пунктов увеличивается количество дорог, связывающих их, идёт процесс развития транспортной сети, и наоборот, строительство автомобильных и железных дорог приводит к возникновению населѐнных пунктов, чаще всего в тех местах, где пересекаются два–три отрезка (луча) дорог разных классов. Таким

образом, транспортная сеть изменяется вслед за изменением системы расселения, и в то же время сама формирует дополнительные узлы, эволюционирующие далее в населённые пункты, т.е. служит тем остовом, который создаёт опорный каркас расселения (ОКР).

Термин «каркас» был введён Н.Н. Баранским, который определял его как остов, который формирует территорию, придаёт ей определённую конфигурацию. Известный учёный-географ считал, что для изучения района достаточно проанализировать его каркас; по его мнению, это «масштабный образ, который является результатом гнесеологической генерализации объекта исследования, так как отбрасывает второстепенные элементы, чтобы подчеркнуть основные» (Баранский, 1946).

В то же время И.М. Маергойз, занимаясь проблемой использования картографических методов в экономической географии, относил понятие каркаса территории к достаточно узким, не дающим достаточных сведений для решения целого ряда социально-экономических задач. Он проводил чёткую грань между понятием каркаса по Н.Н. Баранскому и схожей с ней питательно-распределительной транспортно-узловой системой, которая может быть рассмотрена как сеть разноранговых городских очагов и транспортных артерий. И.М. Маергойз подчёркивал, что в рамках каркаса разного рода магистрали играют главным образом скрепляющую роль, в то время как в рамках питательно-распределительной структуры транспортные артерии не только соединяют населённые пункты, но и выполняют распределительную функцию, являясь средством перемещения грузов, пассажиров и информации (Маергойз, 1986).

Г.М. Лаппо определял опорный каркас расселения как сочетание главных центров экономической, политической, культурной жизни и соединяющих их магистральных линий. Центрами или узлами опорного каркаса служат крупнейшие города и образованные ими городские агломерации, а линейными элементами служат магистрали различных видов транспорта, из которых формируются полимагистрали – территориально-сближенные и эквиориентированные пучки двух и более инфраструктурных линий различных видов универсального магистрального транспорта (Лаппо, 1983). Таким образом, Лаппо считает, что они служат осями экономического развития и рассматривает опорный каркас как лаконичный географический портрет страны или региона.

Таблица. Элементы опорного каркаса расселения (Полян, 2014)

Элементы	Порядок центров				
	общесоюзного и регионального значения			общесоюзного значения	
	I	II	III	IV	V
Узловые	Высоко-развитые городские агломерации	Прочие городские агломерации	Крупные города и большие города – областные центры	Большие и средние города – областные центры	Средние города, малые города и п.г.т. – центры округов
Линейные	Полимагистралы высокой мощности	Прочие полимагистралы	Мономагистралы, связывающие республиканские и региональные центры	Внутрирегиональные дороги, связывающие областные центры	Дороги, связывающие областные, окружные и важные промышленные центры, а также зоны нового освоения

Историческую изменчивость транспорта и населённых пунктов как составной части народного хозяйства подробно рассматривал Г.А. Гольц в своей монографии «Расселение и транспорт» (Гольц, 1981), о динамике линий и узлов писал П.М. Полян, отмечая, что опорный каркас расселения – это категория живая, историческая изменчивая. Он приводил пример описания путей сообщения древней Руси В.П. Семеновым-Тянь-Шанским в 1899 г. и выделение им пяти крупных водных путей, которые были важнейшими транспортными магистралями для торговли и перемещения населения. В совокупности с населёнными пунктами, которые к ним тяготели, это был опорный каркас расселения северных русских земель в Древнерусском государстве до монгольского нашествия (Полян, 1988).

На современном этапе исследований основными узловыми элементами опорного каркаса территории становятся не только крупные транспортные узлы и населённые пункты, но и городские агломерации, а основными линейными элементами – не просто магистрали, а полимагистралы, которые состоят из двух и более инфраструктурных линий (в сочетании автомобильных и железных дорог, линий электропередач, водных путей).

Для проблематики опорного каркаса расселения большое значение имеет масштаб исследования и определение их параметров. П.М. Полян, уточняя и конкретизируя предшествовавшие разработки (Лаппо, 1978; Полян, 1980), предложил шкалу узловых и линейных элементов ОКР для общесоюзного и регионального уровня (таблица).

В опоре на эти разработки продолжают дальнейшие изыскания по изучению и картографическому представлению опорного каркаса

расселения на тематических картах. Например, карта «Каркас населения» из Атласа железных дорог России (2015) представлена в достаточно мелком масштабе – 1:33 000 000. Основные элементы её содержания – плотность населения и транспортная сеть. При отборе на столь мелкомасштабной карте оставлены лишь крупнейшие транспортные узлы на главных магистралях страны.

Решение задачи картографирования опорного каркаса расселения в более крупном масштабе сопряжено с рядом трудностей, и прежде всего с проблемой генерализации транспортной сети. Несомненно, что принципы картографирования для мелких и крупных масштабов – одни и те же, но критерии выделения структуры узловых и линейных элементов на уровне всей страны, региональном или областном уровне будут разными. Пример картографирования ОКР для территории небольшого региона можно продемонстрировать на примере составления карты «Опорный каркас расселения Уральского экономического района», разработанной авторами в рамках исследования данной темы. В основе создания карты – трёхэтапный процесс выявления и генерализации путей сообщения совместно с выделением наиболее значимых узлов. На первом этапе была составлена карта путей сообщений с подразделением на железные и автомобильные дороги, с обязательным показом всех судоходных участков рек. Элементы транспортных сетей отображались в зависимости от масштаба картографирования и по принципу отбора наиболее значимых дорог (рис. 1).

На втором этапе выполнена операция по формированию полимагистралей на основе дорог, выделенных на первом этапе картографирования. Без сомнения, связующими элементами являются транспортные магистрали, но поскольку в настоящее время широкое развитие получила такая составляющая каркасной системы освоения–расселения территории как полимагистрализация, было решено сформировать опорный каркас расселения на основе существующего рисунка полимагистралей. Факт существования полимагистралей – первостепенное условие для размещения вблизи неё целого ряда предприятий, которые в свою очередь приводят к появлению и формированию крупных транспортных узлов. При составлении карты в масштабе 1:8 000 000 каждая полимагистраль объединила два или три магистральные направления: параллельно идущих линий разных видов транспорта с расстоянием не более 20 км (рис. 2).

На третьем этапе к сформированным линейным элементам были добавлены узловые компоненты в виде транспортных узлов. В качестве основных узловых элементов ОКР выступают не только крупные города, но и населённые пункты разного иерархического уровня, характеризующиеся своей значимостью и численностью населения; при этом значимость узла дана по количеству сходящихся в узле путей сообщений. Таким образом, была составлена карта, где выделенная система полимагистралей легла в основу опорного каркаса; она отвлекает от реальных расстояний и кривизны автодорог и сосредотачивает внимание главным образом на качественных свойствах основных элементов рисунка расселения (рис. 3). При изучении и оценке опорного каркаса расселения Уральского экономического района на карте можно проследить закономерности в развитии пространственной организации территории. Выраженность центральных узлов в сети расселения района указывает на агломерационный решётчатый тип опорного каркаса с большим количеством центров разной величины в местах пересечения транспортных линий.

Исследования подобного типа опираются на геоинформационную поддержку, и в то же время нуждаются в концептуальном картографическом подходе к созданию современных карт, отвечающих всем требованиям текущей экономической ситуации в стране. Разработка сценариев развития территории в транспортном отношении требует применения новых инструментов и технологий пространственного анализа, учёта актуальных и достоверных данных об объектах транспорта и населения, об изменениях, происходящих в пространственном распределении транспортных узлов и населённых пунктов. В основе любых исследований по теме транспорта и населения, решений транспортных задач и их визуализации должен лежать процесс сбора исходной информации для тематического геоинформационного картографирования и создание объектно-ориентированных тематических баз пространственных данных (Лурье и др., 2015). Такая база, как обобщение многих источников должна быть упорядоченным справочником основных социально-экономических показателей, учитываемых официальной статистикой по регионам, городам и районам, по отдельным отраслям или по переписи населения.

В настоящее время геоинформационные системы на транспорте представляют универсальную технологию для работы с пространственными данными. ГИС может решать задачи, относящиеся как

к локализованным объектам в точках, так и к линейным, организованным в сетевую структуру. В первом случае важны описательные характеристики объектов, а во втором – конфигурационные особенности транспортных сетей, их связанность и пропускная способность дорог (Семина и др., 2012).

Всё более востребованными становятся картографические базы данных, и круг лиц, использующих их в рамках профессиональной деятельности, растёт. Ведомственная отчётность, как правило, шире рамок государственной статистики и может дать много дополнительного и уточняющего материала для создания этих баз данных (Прохорова, Семин, 2011). Статистические базы данных формируются исследовательскими коллективами в университетах, научных институтах и аналитических центрах, а также коммерческими организациями в ходе целевых исследований.

Наличие собственного сайта с включением баз социально-экономических данных становится обязательным для каждого муниципального образования или хозяйствующего субъекта. Современный объём накопленной информации гораздо больше, чем доступно рядовому исследователю, поскольку большая часть этой информации сосредоточена в базах данных ведомственных структур, предназначенных для внутреннего использования. Примером таких баз данных служит автоматизированная информационная система (АИС) ведомственной охраны на российских железных дорогах, в рамках которой одним из авторов этой статьи был разработан модуль отображения картографической информации. АИС показывает сеть железных дорог с указанием всех железнодорожных станций, при этом нагрузка на карте изменяется в зависимости от масштаба. Система не только показывает эксплуатационную протяжённость и пространственное распределение элементов сети железных дорог, но и позволяет визуализировать актуальную информацию о чрезвычайных событиях и хищениях грузов на дорогах, зафиксированных в базе данных АИС (рис. 4).

Несмотря на то, что далеко не все существующие данные в настоящее время доступны исследователю, появляется всё больше и больше открытых источников, которые могут быть использованы при создании карт, в том числе по теме транспорта и населения. Социально-экономические картографические платформы, как правило, ограничены одним национальным государством в конкретном масштабе данных, однако благодаря подобным источникам доступна та информация, которую

ранее было трудно получить. Наличие большого количества информации и грамотная её обработка позволяют обнаружить закономерности, существующие между данными, однако объём информации увеличивается гораздо быстрее, чем наша способность её обрабатывать; поэтому необходимы новые подходы к обработке большого объёма данных, а также к созданию новых методов и методик их изображения.

Заключение

В статье рассмотрены направления современных исследований картографирования населения и транспорта, связанных с пространственным распределением этих явлений, отмечены исследования по теме выявления опорного каркаса расселения. Изучение пространственного своеобразия любого региона невозможно без учёта территориальных аспектов развития сети поселений и транспортной сети. Исследования конфигурации транспортной сети, размещения узлов, обеспеченности района транспортной инфраструктурой и других аспектов совместного развития транспорта и населения необходимы также и при оценке окружающей среды и здоровья населения. Выявление закономерностей организации расселения, размещения его в пространстве даёт информацию к размышлению о перспективах развития территориальной общности, об изменении структуры расселения, характера освоения территории, и приводит к необходимости привлечения различных методов и подходов к их картографированию.

Авторами предложен вариант создания карты «Опорный каркас расселения Уральского экономического района», при создании которой ОКР был сформирован на основе существующего рисунка полимагистралей с выделением в процессе генерализации наиболее значимых путей сообщения и транспортных узлов. Использование концепции опорного каркаса усиливает системный подход в исследованиях транспорта и расселения и посредством картографирования позволит выявить и оценить заселённость территории и равномерность размещения населения, дальнейшее формирование территориальной структуры хозяйства.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 17-05-41115 РГО_а.

Литература

- Алексеев А.И., Сафронов С.Г. Изменение сельского расселения в России в конце XX – начале XXI века // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 66–76.
- Алексеев А.И., Савоскул М.С., Сафронов С.Г. Отечественная география населения в постсоветский период: основные направления и тренды их развития // Региональные исследования. 2016. № 2 (52). С. 55–65.
- Баранский Н.Н. Об экономико-географическом изучении городов // Вопросы географии. Сб. 2. М.: Географгиз, 1946. С. 19–62.
- Баранский Н.Н. Экономическая география. Экономическая картография. М.: Географгиз, 1956. 367 с.
- Баранский Н.Н., Преображенский А.И. Экономическая картография. М.: Географгиз, 1962. 288 с.
- Бугроменко В.Н. Транспорт в территориальных системах. М.: Наука, 1987. 111 с.
- Бугроменко В.Н. Современная география транспорта и транспортная доступность // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 4. С. 7–15.
- Василевский Л.И., Чижов Н.Н. Некоторые вопросы моделирования транспортно-экономического пространства // Вопросы географии. Сб. 88. Теоретическая география. М.: 1971. С. 137–152.
- Владимиров В.В. Наймарк Н.И. Проблемы развития теории расселения в России. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 376 с.
- Гольц Г.А. Транспорт и расселение. М.: Наука, 1981. 248 с.
- Зайончковская Ж.А. Внутренняя и внешняя миграция. // Население России. М.: 1993. С. 57–72.
- Евтеев О.А. Картографирование населения СССР. Развитие и перспективы // История развития тематического картографирования в России и СССР. М.: 1987. С. 15–25.
- Евтеев О.А., Свентэк Ю.В., Тикунов В.С. О способах составления карт потенциала поля расселения // Новое в тематике, содержании и методах составления экономических карт. М.: 1974. С. 175–184.
- Ковалев С.А. Сельское расселение: Географическое исследование. М.: Изд-во МГУ, 1963. 372 с.
- Ковалев С.А., Ковальская Н.Я. География населения СССР. М.: Изд-во МГУ, 1980. 287 с.
- Лаппо Г.М. Расселение – составная часть территориальной структуры народного хозяйства // Ресурсы, среда, расселение. М.: 1974. С. 163–171.
- Лаппо Г.М. Опорный каркас территориальной структуры народного хозяйства // Территориальная организация производительных сил СССР. М., 1978. С. 3–25.
- Лаппо Г.М. Концепция опорного каркаса территориальной структуры народного хозяйства: развитие, теоретическое и практическое значение // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1983. № 5. С. 16–28.

- Лекомцев А.Л. Влияние развития транспорта и транспортной сети на системы расселения населения (на примере территории Удмуртии) // Вест. Удмуртского ун-та. Биология. Науки о Земле. 2010. Вып. 4. С. 110–114.
- Лурье И.К., Балдина Е.А., Прасолова А.И., Прохорова Е.А., Семин В.Н., Чистов С.В. Серия карт эколого-географической оценки земельных ресурсов территории Новой Москвы // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2015. № 4. С. 49–58.
- Лухманов Д.Н. Историко-географическое изучение расселения: задачи и методы // Вест. истории географии. Вып. 1. М.: Ин-т географии РАН, 1999. С. 75–89.
- Махрова А.Г., Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Пространственные тенденции социально-экономического развития Московской агломерации // Территория и планирование. 2012. № 4 (40). С. 18–32.
- Маергойз И.М. Территориальная структура хозяйства. Новосибирск: Наука, 1986. 304 с.
- Никольский И.В. География транспорта СССР. М.: Изд-во МГУ, 1978. 286 с.
- Никольский, И.В., Самойленко З.В. О картографической оценке транспортного обслуживания территории // Оценочные карты природы, населения и хозяйства / Под ред. К.А. Салищева. М.: Изд-во МГУ, 1973. С. 193–199.
- Переведенцев В.И. Методы изучения миграции населения. М.: Наука, 1975. 231 с.
- Покшишевский В.В. Население и география. Теоретические очерки. М.: Мысль, 1978. 316 с.
- Полян П.М. Урбанизация и территориально-урбанистические структуры // Территориальные социально-экономические системы. Урал, Пермь, 1980. С. 80–86.
- Полян П.М. Методика выделения и анализа опорного каркаса расселения. Ч. 1 / Ред. Г.М. Лаппо. М.: Ин-т географии РАН, 1988. 220 с.
- Полян П.М. Территориальные структуры – урбанизация – расселение: теоретические подходы и методы изучения. М.: Новый хронограф, 2014. 783 с.
- Полян П.М., Трейвиш А.И. Территориальные структуры в науке и практике. М.: Знание, 1988. 48 с.
- Прохорова Е.А., Семин В.Н. Картографические базы данных для социально-экономических карт // Вест. МГУ. Сер. География. 2011. № 3. С. 33–39.
- Савоскул М.С. Вынужденная миграция русского населения из стран СНГ и Балтии // Население и кризисы. Сб. статей. Т. 4. М.: Диалог-МГУ, 1998. С. 78–100.
- Саушкин Ю.Г. Экономическая география: история, теория, методы, практика. М.: Мысль, 1973. 558 с.
- Семина И.А., Фоломейкина Л.Н., Салькаева Д.Ф. Сущность и характерные черты понятия «транспортная инфраструктура» // Сб. науч. трудов Sworld. 2012. Т. 35. № 3. С. 41–45.

- Скопинцев Ю.А. Принципы картографирования транспортной обеспеченности территории и населения. Новое в математике, содержании и методах составления экономических карт. М., 1970. 123 с.
- Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года. М., 2008.
- Строева Г.Н., Слободчикова Д.В. Обеспечение транспортной доступности населения как важное направление социально-экономического развития региона // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». 2016. Т. 7. № 4. С. 673–679.
- Тархов С.А. Закономерности саморазвития конфигурации транспортных сетей // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М.: Ин-т географии АН СССР, 1989. С. 31–45.
- Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск–Москва: Универсум, 2005. 384 с.
- Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года. М., 2014.
- Хорев Б.С., Чанек В.Н. Проблемы изучения миграции населения. М.: Мысль, 1978. 256 с.
- Шлихтер С.Б. О некоторых количественных методах исследования в географии транспорта развивающихся стран // Геогр. сб. ВИНТИ. 1975. № 5. С. 396–408.
- Шлихтер С.Б. Транспортные системы в территориальной структуре капиталистического хозяйства. ВИНТИ. Итоги науки и техники. География зарубежных стран. Т. 17. М.: 1990. 195 с.
- Deville P., Linard C., Martine S., Gilbert M., Stevens F.R., Gaughan A.E., Blondel V.D., Tatem A.J. Dynamic population mapping using mobile phone data. Santa Barbara: University of California, 2014 (data available: 17.09.2017).
- Taylor Z. The diffusion of railway network in Poland as a space-time process // Geographia Polonica. 1984. № 50. P. 75–87.

Е.А. Prokhorova, V.N. Semin, A.V. Morozova

SOCIO-ECONOMIC ASPECTS OF TRANSPORT AND HUMAN SETTLEMENT NETWORKS MAPPING

The article deals with the problem of some approaches to mapping the settlement-transport system. The analysis of modern studies of population and transport mapping related to the spatial distribution of these phenomena is carried out. The interrelation of the transport structure and supporting settlement framework is considered; we analyze the possibility of its detection on the basis of polyline allocation in accordance

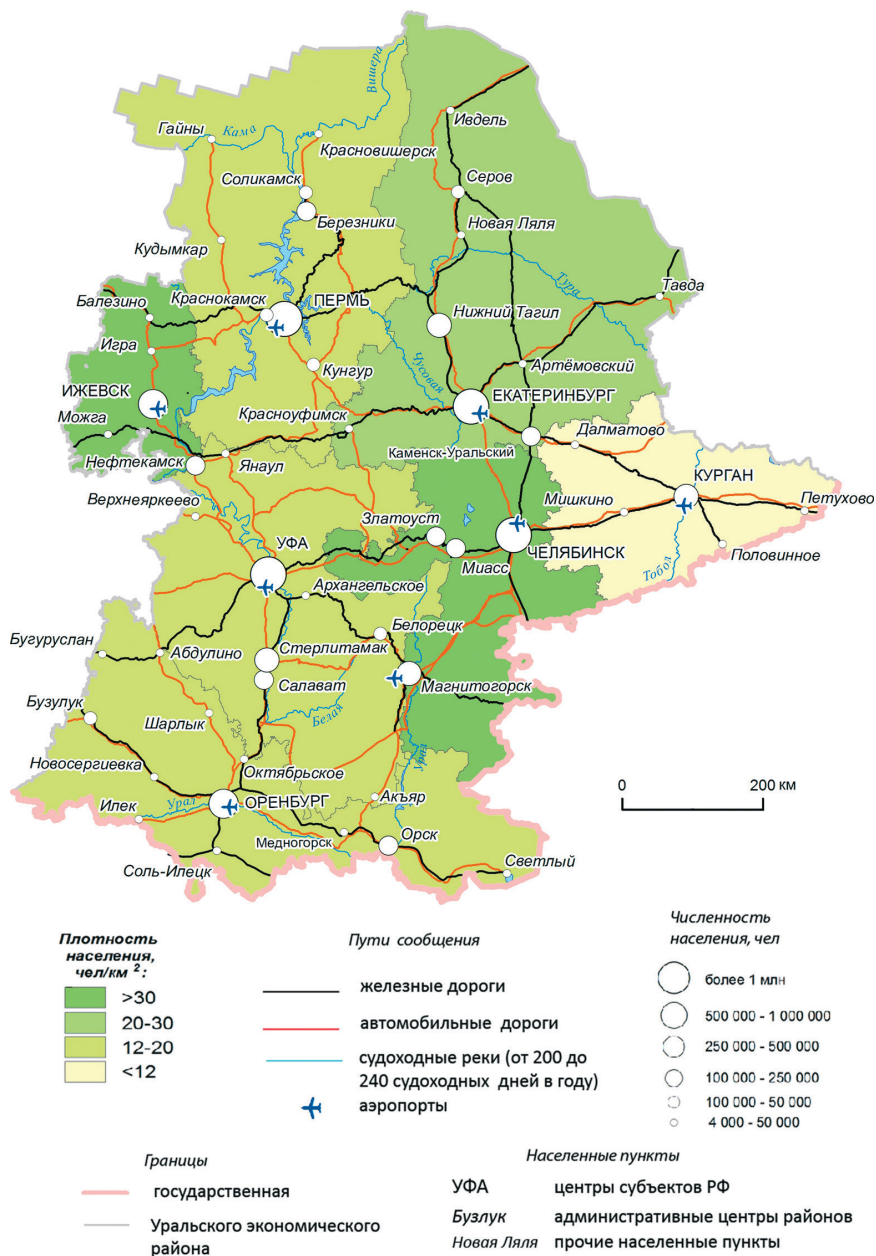


Рис. 1. Транспортная сеть Уральского экономического района

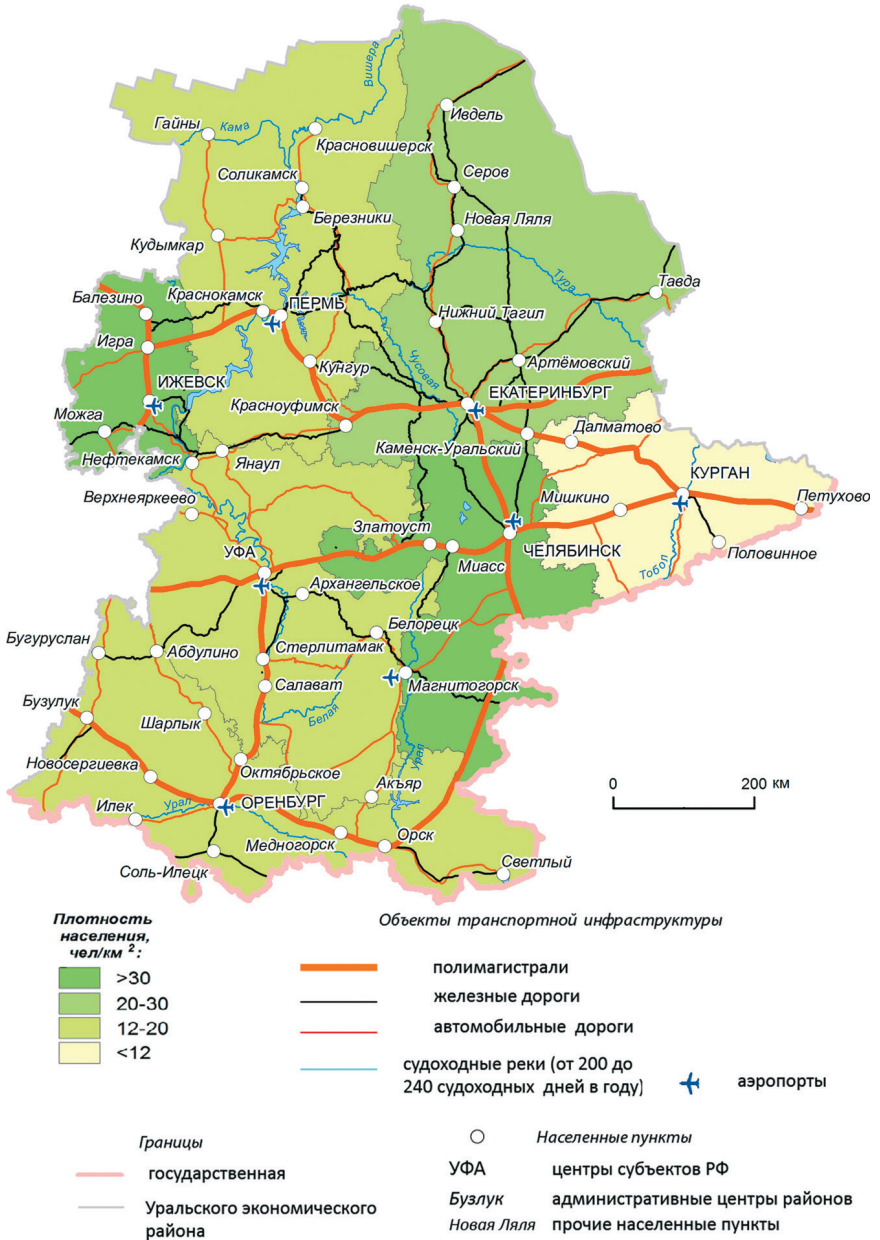
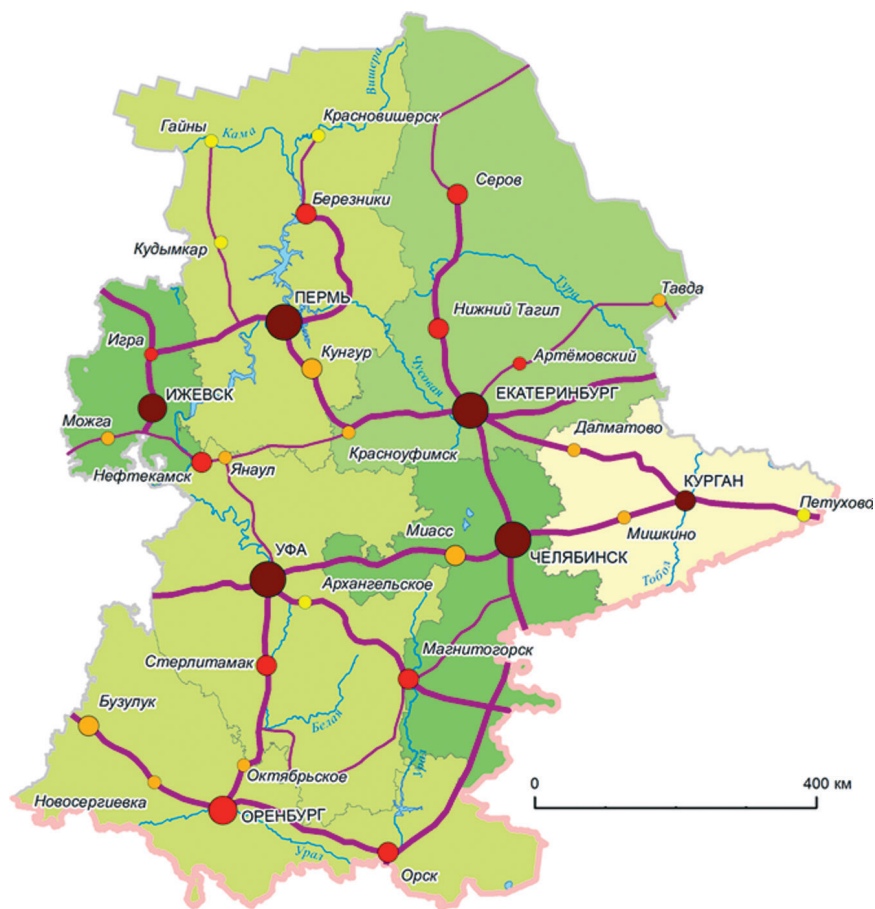


Рис. 2. Отображение на карте выделенных линий полимагистралей



ЭЛЕМЕНТЫ ОПОРНОГО КАРКАСА РАССЕЛЕНИЯ

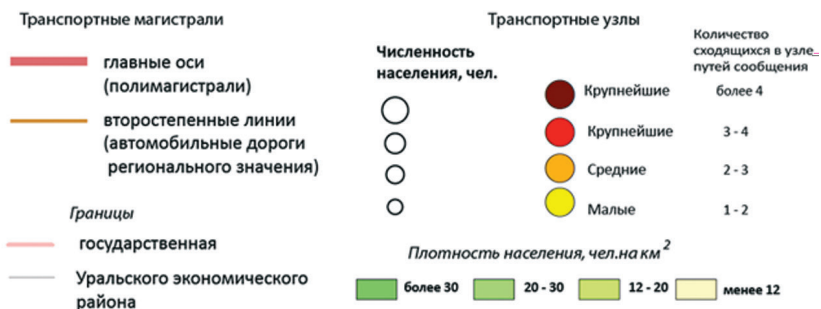


Рис. 3. Опорный каркас расселения Уральского экономического района

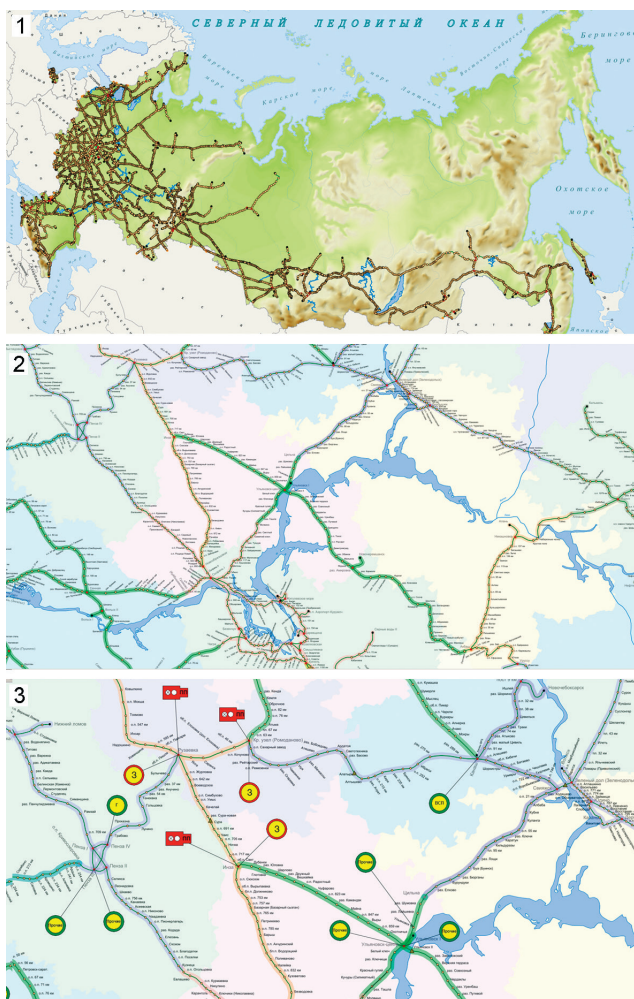


Рис. 4. Фрагмент визуализации на трёх уровнях сети железных дорог с разными элементами содержания: 1) уровень государства на фоне физической карты; 2) уровень регионов с указанием железнодорожных станций на фоне административного деления страны; 3) уровень районов с показом отдельных событий в виде значка, привязанного к той станции, где оно произошло

with a scale. An example of settlement framework mapping for a small region is given. The relevance of this topic is conditioned by the need of new studies in this direction because of the ever changing demographic and economic environment.

Д.С. Асоян

ЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭКЗОМОРФОГЕНЕЗА ПО КОСМИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ ГОРНЫХ СТРАН

Введение

Как известно, земная поверхность отображается на аэрокосмических снимках в закодированном виде. Компоненты природы на снимках изучаются с помощью дешифровочных признаков геообъектов и во многом зависят от ландшафтных условий. Чем однороднее эти условия, тем сложнее их интерпретация. При существенных различиях в строении ландшафта, которые особенно свойственны горным регионам, процесс распознавания происходит более уверенно. В связи с этим возможности дешифрирования проявлений экзогенных процессов и их ареалов в горных странах зависят от широтных географических поясов, а в их пределах – от климатических и радиационных условий. Эффективность использования космических снимков зависит от контрастности горного ландшафта, иными словами от фотофизиономичности рельефа и его индикаторов на снимках.

Разработанная нами методика эколого-геоморфологического картографирования по космическим снимкам была апробирована на примере тестовых областей в тектонически активных горных странах, отличающихся регионально-типологическими и климато-ландшафтными условиями. Эти области находятся в умеренном, субтропическом и тропическом поясах – в Восточно-европейском и Дальневосточном секторах (Большой Кавказ, Большая и Малая Курильские гряды), в Южно-американском (Чилийско-Аргентийские Анды) и Центрально-американском (Восточная Куба – горы Сьерра-Маэстра) секторах. В этих работах были охарактеризованы дешифровочные признаки морфоструктур (Асоян и др., 2005).

Вместе с тем одна из важных проблем – анализ дешифровочных признаков проявлений экзогенных процессов и их ландшафтных индикаторов в горах по разным широтным географическим поясам – ещё недостаточно разработана. Специальных исследований, посвящённых характеристикам дешифровочных признаков процессов экзоморфо-

генеза, немного (Ревзон и др., 1979; Викторов, 1986; Асоян, 2002). Эти вопросы попутно затрагиваются во многих публикациях, связанных с применением методов аэрокосмического зондирования и тематическим картографированием. Приводятся характеристики дешифровочных признаков экзогенных процессов (Асоян, 1981; Сладкопепцев, 1982; Аэрокосмические методы..., 2000; Котляков и др., 2008); в других работах только указываются ландшафтные индикаторы этих процессов, но без описания их дешифровочных признаков (Ревзон и др., 1979; Асоян и др., 2010; Асоян, 2013). Отметим сразу, что большая часть этих исследований проведена для горных и равнинных территорий СССР, то есть в умеренном широтном географическом поясе.

В настоящей статье сделана попытка обобщения, систематизации и характеристики дешифровочных признаков ареалов проявлений экзогенных процессов в горах по аэрокосмическим изображениям, а также сравнительному анализу сходства и различий признаков генетически однородных объектов на примере названных выше ландшафтных поясов. Для гор субтропиков и тропиков мы затрагиваем этот вопрос впервые в (Асоян, 2016; Asoyan, 2016).

Целесообразно вновь привлечь внимание к визуальному методу дешифрирования космических снимков, который всё ещё недооценивается из-за широкого развития геоинформационных технологий. Но для визуального метода используется самый совершенный, данный человеку природой, мыслительный аппарат с его ассоциативным мышлением, интеллектом и научной интуицией, и поэтому он не может быть полностью заменён автоматизированным дешифрированием.

Методы эколого-геоморфологического картографирования

При интерпретации на космических снимках горного рельефа и проявлений процессов эндоморфогенеза мы используем известный ландшафтно-индикационный метод. Он основан на выявлении взаимосвязей строения компонентов природы и использовании установленных закономерностей при дешифрировании рельефа. Элементы и формы горного рельефа, созданные обвально-осыпными процессами, линейной и русловой эрозией, а также растительный покров и водные проявления выражены прямыми признаками: формой, размером, тенями, цветом изображения и плотностью фототона на интегральных

чёрно-белых снимках. Проявления экзогенных процессов отображены косвенно, т.е. ландшафтными индикаторами. На основе камерального и полевого анализов снимков и аэровизуальных наблюдений на Большом Кавказе и на Кубе мы обнаруживаем следы развития экзогенных процессов по ряду признаков: морфографическим ступеням рельефа; пространственной структуре почвенно-растительных высотных поясов, а в их пределах – по особенностям строения растительных сообществ (лесных, горно-луговых, горно-степных), их экспозиционным различиям, по сомкнутости крон древостоя и плотности дернового покрова. В качестве индикаторов активизации проявлений процессов экзоморфогенеза могут служить также повышенная сейсмичность территории (до 8–10 баллов), литолого-стратиграфический состав пород. Кроме того, наш опыт структурно-геоморфологических исследований показал, что активизация склоновых процессов часто приурочена к зонам тектонической трещиноватости, морфоструктурных линейментов и активным неотектоническим морфоструктурам (Асоян, 2015).

Самый надёжный и чуткий индикатор ареалов проявлений рельефообразующих процессов – ландшафтные высотные пояса и растительный покров, выраженный на снимках в контрастах сопряжённых в пространстве сообществ. Последние чётко отображены на космических снимках в различиях цветов или в плотности фототона на изображениях любого вида съёмки и зависят от технологии обработки снимков. При этом важнее не сами цвета и их оттенки, а их различия и степень насыщенности.

При исследованиях использованы данные анализа космических снимков разных видов отечественных и зарубежных съёмок (материалы цветной, спектрзональной фотосъёмки с двумя или тремя светофильтрами), сканерной многозональной съёмки. Установлено, что при крупномасштабном эколого-геоморфологическом картографировании в масштабе 1:200 000 наиболее эффективны летние спектрзональные и многозональные синтезированные изображения масштабов 1:700 000 – 1:400 000. Они получены с ранее действующих ИСЗ системы «Ресурс-Ф1, Ресурс-Ф2, Ресурс-1М»¹ и постоянно функционирующих Ландсат-5-7-8, Terra/Aster, Spot и др. Для Курильских островов использованы спектрзональные фотоснимки «Ресурс-Ф», а также цветные фотоснимки, полученные с международной космической станции (МКС–NASA–МИР) и радиолокационные зимние аэроснимки.

¹ Доступны из архивов Центра геодезии, картографии и ИПД (инфраструктура пространственных данных).

В целях изучения ареалов развития экзогенных процессов и эколого-геоморфологического картографирования горных стран полезны космические изображения разнородных природных и геоморфологических ландшафтов с захватом территории не менее 60–100 км и разрешением на местности от 8 до 30 м для природных и антропогенных объектов среднего и резкого контраста. Снимки с более высоким разрешением на местности (0,4–10 м), имеющие меньший охват территории, например, с автоматических космических аппаратов "Ресурс-П", Ikonos, WorldView и др., могут быть применены для уточнения отдельных контуров и крупных проявлений экзогенных процессов (оползней, ледово-каменных селей и т.п.).

На основе интерпретации по космическим снимкам ареалов опасных экзогенных процессов, элементов и форм рельефа для тестовых тектонически активных горных областей созданы эколого-геоморфологические средне- и крупномасштабные инвентаризационные и оценочные карты (Асоян, 2013). На оценочных картах степень опасности экологической ситуации определена по общим для экологических карт способам ареалов и значков. Красочный фон подобран по принципу «светофора»: чем ярче и теплее цвет, тем опаснее. Проверка и уточнения дешифровочных признаков рельефа, границ ареалов проявлений процессов экзоморфогенеза и растительного покрова, а также границ высотных ландшафтных поясов (на Северном Кавказе и на Кубе) проведены при наземном комплексном дешифрировании космических снимков и маршрутным работам. Привлечены опубликованные, картографические и фондовые источники.

Результаты исследований

Республика Северная Осетия–Алания. При изучении дешифровочных признаков рельефа и эколого-геоморфологическом картографировании для западной и центральной частей республики использованы спектрозональные фотоснимки ("Ресурс-Ф"), а для восточной её части в междуречье Фиагдон–Терек – сканерные мультиспектральные синтезированные изображения в "ложных" цветах, полученные с "Ландсат" и с Terra/Aster в 2002 г. (после Кармадонской катастрофы, случившейся 20 сентября 2002 г. (рис. 1).

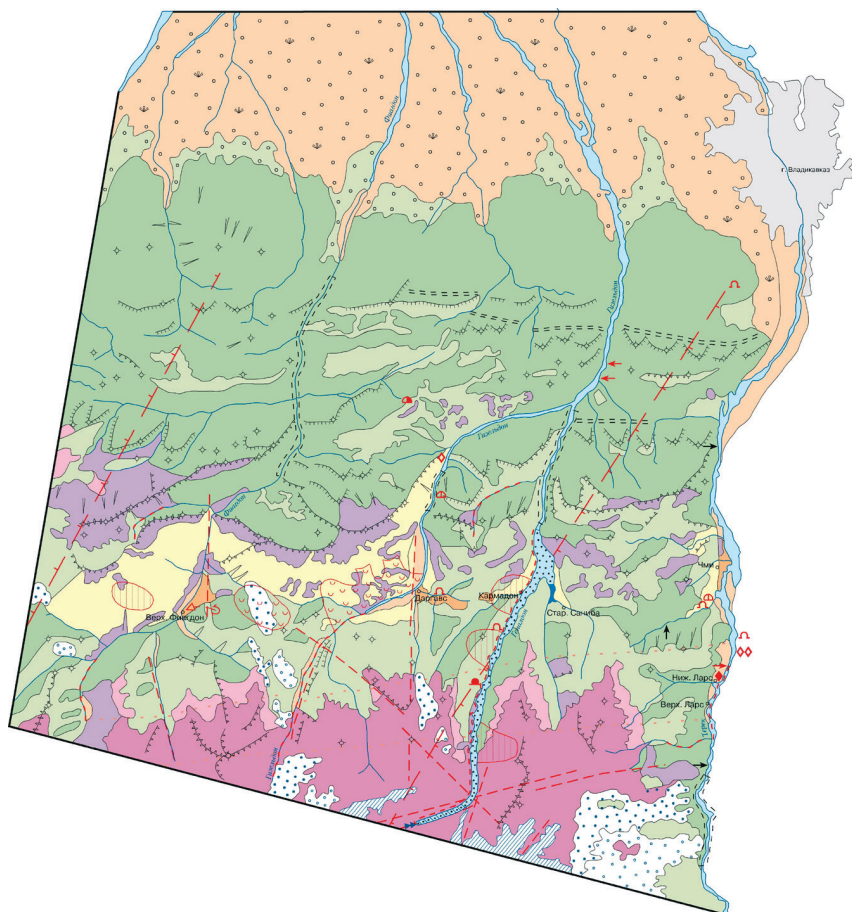
Северная Осетия расположена в Транскавказском поперечном поднятии и представляет собой одну из геодинамических областей на

Северном Кавказе. Здесь проявляется повышенная сейсмичность до 9 баллов. На территории развита ортогональная сеть зон тектонической трещиноватости, которая вызывает плановый коленчатый рисунок речной сети (весьма специфический для Северной Осетии), спрямлённую форму крупных речных долин Ардона, Фиагдона, Гизельдона и Терека. Долины на коротких меридиональных отрезках, приуроченных к разрывным зонам, имеют крутые продольные профили и значительную глубину вреза. На склонах и в долинах проявляются интенсивные экзогенные процессы (обвалы, осыпи, сели, оползни) и глубинная эрозия, формирующая ущелья. Эти факторы, а также сильные дожди служат основными причинами высокой селевой опасности долин и активизации оползней, нередко приобретающих катастрофический характер.

Здесь представлен классический спектр высотных поясов, характерных для Большого Кавказа. Вулкан Казбек был действующим в историческое время и, вероятно, остаётся таким и в настоящее время. Произошедшие события – подвижка ледника Колка в 2002 г. (Кармадонская катастрофа), а также обвал и сход Девдоракского ледника в 2014 г. могли быть вызваны, помимо других факторов, и вулканической деятельностью (Котляков и др. 2014; Асоян, Рототаева, 2016).

В восточной части республики в высокогорном ярусе рельефа (массив Казбека –5033–3400 м, далее к западу – 4636–3400 м) развит нивально-гляциальный пояс; характеризующийся однородным почти белым цветом ледников и снежников с отдельными контурами выходов скальных пород. Рисунок изображения мелко-перистый; развиты катастрофические и угрожающие процессы экзоморфогенеза: ледниковые обвалы, снежные лавины, обвально-осыпные, ледово-каменные сели, а также нивация, солифлюкция, аккумуляция обломочного материала; последние могут стать очагами возникновения мощных грязекаменных селей в период затяжных дождей.

Субнивальный и альпийский низкотравный пояса (3400–2700 м) на космических снимках не разделяются (доказано при их полевом дешифрировании). Оба пояса отображены на сканерном многозональном синтезированном изображении гаммой «ложных» светло-голубых и серовато-голубых цветов, а рельеф – мелко-перистым и средне-перистым рисунком. В альпийском поясе низкотравные луга имеют проективное покрытие в 30–50% и высоту травостоя 10–15 см (Асоян и др., 2013). Здесь развиты снежные лавины, обвалы горных



пород, селевой, оползневой процессы, линейная и русловая эрозия; это районы высокой селеопасности.

На примере Верхне-Фиагдонской котловины по данным дешифрирования космического изображения и наземных маршрутных работ в среднегорье выявлен субальпийский высокотравный пояс (2700–2400 м) с берёзовым криволесьем, злаково-разнотравными лугами и высокотравными сообществами. Проективное покрытие здесь достигает 100%, а высота травостоя – 100 см и более. На снимках он отображён оттенками розового цвета. Проявляются угрожающие и опасные экзогенные процессы: селевой, плоскостной смыв, линейная и русловая эрозия средней интенсивности.

ЛАНДШАФТНАЯ ИНДИКАЦИЯ ОПАСНЫХ ПРОЦЕССОВ ЭКОМОРФОГЕНЕЗА ПО КОСМИЧЕСКИМ ИЗБРАЖЕНИЯМ...

Легенда карты "Эколого-геоморфологическая карта междуречья рек Фиалдон - Терек, Северная Осетия - Алания" масштаб 1:200 000

Составитель Д. С. Асоян, Электронная версия Н. И. Кукушкина, 2009 г.

Комплексы экологических процессов, степень опасности		Интенсивность процессов	Условия проявления склоновых процессов				Степень эрозивности	Примечания
1	2		Типы склонов, крутизна	4	5	6		
Катастрофические: 1 ледно-облавы, снежные лавины, обвалы осельные, селей, нецели с оид ледящи, аккумуляционные обломки магматита 2 обвалы осельные, снежные лавины, селей, оползневых, линейная эрозия Угрожающие, опасные: 3 время цветения обвалы осельные, оползневых, селей, провалов, депозитальных, линейная и роговая эрозия а) селей, линейная и роговая эрозия б) линейная эрозия, карст, провалов, депозитальных, селей 4 оползневых, депозитальных, плоскостной смы, линейная и роговая эрозия 5 линейная провалов, оползневых, селей, провалов, депозитальных, линейная и роговая эрозия а) альпояльно-пропавинный; б) в расширениях днища долины, в на правоторой равнина 7 плоскостной смы, линейная эрозия, пиродо-антропогенного генезиса 8								
		высокая, наиболее опасные районы	высотерные > 22°, обвалы осельные 15-20°, аккумулятивные 8-10°	высотерные > 35-55°, обвалы осельные 15-20°	высотерные, 2023-3400, гляциальная альпая	-	отсутствует	Геналдонская катастрофа 1902 г., подвиги ледяна Колка - 1969 г., 20.09.2002 г., Ларское землетрясение 1915 г., потенциальная активность вулкана Кайби
		высокая, наиболее опасные районы	средняя	абсолютные 6-20°, относительные 8-10°	а) высотерные, 2700-2400, горно-луговая б) низкотерные, 2400-1100, горно-луговая степная	субальпийский, альпийский, низкотерный	слабая	срыв почво-растительного покрова на склонах долины, Геналдон при сходе ледяно-каменного сета 20.09.2002 г.
		средняя	абсолютные 6-20°, относительные 8-10°	абсолютные 6-20°, аккумулятивные 8-10°	среднетерные, 2400-1100, горно-луговая степная	подветренные ландшафты - горно-лугово-степной, горно-степной	средняя и слабая	предполагается усиление склоновых процессов под антропогенным воздействием на локальных участках
		средняя, районы слабой сейсмичности	абсолютные 6-20°, аккумулятивные 8-10°	абсолютные 6-20°, аккумулятивные 8-10°	среднетерные, низкотерные, 2400-1400-840, горно-степная	крупнопесчаные субальпийские маршевые, сосновые, березовые, широколиственные леса, частично дубовая листопадная	высокая	-
		средняя, районы слабой сейсмичности	-	-	среднетерные и высотерные, 1400-840	сильная разреженная растительность, с х. угодья	слабая	активизация процессов на участках хозяйственного освоения

Локальные проявления опасных геоморфологических процессов и явлений в период 2002-2007 гг.

- | | | | | |
|------|--|----|--|---|
| 9 а) | ледники и снежники | 22 | | Сели: |
| б) | пустое дно ледника Колка | 23 | | однократный селивые крупнейшие бассейны |
| 10 | ледяно-каменная сль в долине р. Геналдон (Кармадонская катастрофа 20 сентября 2002 г.) | 24 | | Речная боковая эрозия |
| 11 | подвиги ледяна Колка (зарегистрированный 20.09.2002 г.) | 25 | | многократная неоднородная |
| 12 | ледниково-подрурове север Старая Саньба | 26 | | активная глубинная эрозия в крупных ущельях |
| 13 | Склоновые процессы | 27 | | борозды, ложбины, овраги уступы задерживаемые |
| 14 | Обвалы горных пород | 28 | | переходы склонов |
| 15 | однокротная активизация | 29 | | денудационные конические вершины |
| 16 | неоднородная | 30 | | зоны трещиноватости скалущих, глубоких разломов в повышенной сейсмичностью и активизирующийся процессов |
| 17 | Оползни: | 31 | | субальпийская зона интенсивного тектонического дробления (установленные разломы и мелкие линейamentos) |
| 18 | однокротная активизация | 32 | | Зоны линейamentos облачных покровов |
| 19 | неоднородная | 33 | | тени от облаков |
| 20 | древние крупные | 34 | | |
| 21 | оползневые склоны | 35 | | |

Рис. 1. Эколого-геоморфологическая карта междуречья Фиалдон – Терек, масштаб 1:200 000; а) легенда к карте

В межгорных котловинах в зоне "подветренных ландшафтов" под Скалистым хребтом на снимках обнаруживаются узкие полосы светлого-розового цвета, отражающие горно-лесно-лугово-степные сообщества (2400–1100 м) (рис. 2). В этом поясе в зависимости от сочетания высоты и экспозиции склонов встречаются такие сообщества: на высотах 2400–1400 м на северо-восточных склонах горные луговые разнотравно-злаковые ковыльные степи с проективным покрытием 100% и высотой травостоя 70 см, а на высотах 1400–1100 м на склонах южных и восточных экспозиций – горно-борадачьевые, полынно-типчаковые, трагакантовые степи с проективным покрытием 50% и высотой травостоя до 40 см. Куртины трагакантовых астрагалов встречаются на



Рис. 2. Горно-степной пояс в межгорной Верхне-Фиагдонской котловине. На дальнем плане Боковой хребет со скально-нивальным поясом. Фото Д.С. Асоян

обнаженных скальных породах на южных склонах (Асоян и др., 2013). Они отображены на снимке оттенками розового цвета. Развиты комплексы угрожающих и опасных экзогенных процессов – оползневой (на легко разрушающихся нижнеюрских песчаниках, глинистых сланцах, аргиллитах и алевролитах), делювиальный, плоскостной смыв, линейная и русловая эрозия (районы слабой селеопасности).

Горно-лесной пояс (2400–640 м) выражен на снимках по мере возрастания сомкнутости крон древостоя от светло-малинового до яркого малинового цветов с чёткими границами ареалов. Произрастают сосна, берёза, можжевельник с густым подлеском. Рисунок рельефа в среднегорье – средне-перистый. Под пологом лесов проявляются относительно безопасные склоновые процессы овражной, дорожной эрозии, карст.

Южные части псевдокуэст² (Скалистый, Пастбищный и Лесистый хребты) и их обрывы отображены фестончато-зигзагообразным рисунком, обусловленным эрозионно-денудационным расчленением. На обрывах и во всех остальных районах происходят азональные угрожающие и опасные обвалы, камнепады и осыпи; при крутизне до 35–55° обрывы выделяются на снимках каймой почти белого цвета.

² По последним данным на северном склоне Большого Кавказа классически выраженные куэсты Скалистого и Пастбищного хребтов относят к тектонически обусловленным моноклиналям чешуйчатых надвигов, то есть к псевдокуэстам (Асоян, 2015).

На составленных нами эколого-геоморфологических картах на основе сканерного изображения в «ложных» цветах на междуречье Фиагдон–Терек, а также по спектрально-космическим фотоснимкам в центральной и западной частях ареалы комплексов экзогенных процессов показаны цветным качественным фоном (по отмеченному выше принципу – чем опаснее экологическая ситуация, тем ярче и теплее цвет фона) (см. рис. 1) (Котляков и др., 2008), а на чёрно-белых картах – частотой штриховок. Помимо ареалов опасных процессов на карте изображены локальные проявления эндо-экзо-морфогенеза и их динамика: неоднократные и однократные горные обвалы и сели, осыпи, оползни, а также потенциально опасные зоны морфоструктурных линеаментов, в которых могут активизироваться как экзогенные, так и эндогенные процессы. Указан ледово-каменный сель в долине р. Геналдон при подвижке ледника Колка, вызвавший гибель около 130 человек, а также значительный материальный ущерб: разрушение построек, домов и дорог.

В западной (бассейн р. Урух) и центральной (бассейн Ардона) частях Северной Осетии структура высотных ландшафтных поясов, растительный покров и проявления опасных эндо- и экзогенных процессов аналогичны восточной части республики; таковы же и дешифровочные признаки. Дешифрирование рельефообразующих процессов проведено в западной части по спектрально-космическому фотоснимку, изготовленному с тремя светофильтрами, то есть с натуральной цветопередачей географических объектов. Поэтому в отличие от сканерного изображения в «ложных» цветах, на спектрально-космическом фотоснимке высотные пояса отображены цветами, приближенными к натуральным. Субнивальный скальный пояс и альпийский низкотравный пояс (без разделения), горные степи выражены оттенками светло-коричневого до тёмно-бурого цветов. Субальпийские высокотравные луга отображены светло-бурым цветом, а леса – натуральным насыщенным зелёным цветом с чёткими границами. Хозяйственные объекты – посёлки, дороги, карьеры, а также обнажённые склоны – выражены тёмно-бурым цветом.

Можно привести другой пример космического спектрально-космического фотоснимка, отпечатанного с двумя светофильтрами в «ложных» цветах на Известняковый и Сланцевый Дагестан, полученного с АКА «Космос» в масштабе 1:1 000 000. На фотоснимке голубым цветом выражены травянистый покров и леса (берёзовые и сосновые), фиолетовым цветом и его оттенками – горные степи, обнажённые скальные

породы, осыпные склоны, галечниковые поймы крупных речных долин. Чем насыщеннее голубой цвет на снимке, тем плотнее дерновый покров и сомкнутость крон древостоя, а значит, менее интенсивны склоновые процессы. В то же время насыщенный фиолетовый цвет отражает разреженную степную травянистую растительность, и, следовательно, активизацию склоновых процессов, особенно характерных для Известнякового Дагестана.

Курильские острова. В этом регионе активно проявляются процессы современного вулканизма и сейсмичности до 8–10 баллов. При исследованиях использованы перечисленные ранее материалы космических съёмки, а также зимние радиолокационные аэроснимки. Составлены карты «Опасные рельефообразующие процессы»: на о. Парамушир в масштабе 1:400 000; и на части островов Итуруп, Кунашир, Шикотан в масштабах 1:100 000 и 1:50 000.

На зимнем космическом фотоснимке юга о. Парамушир снежный покров подчёркивает действующие вулканы (Чикурачка – 1816 м, Фусса – 1172 м, Карпинского – 1345 м и др.). Они выражены радиальным рисунком, а горные хребты – крупно-перистым рисунком. Под снегом выделяются спрямлённые элементы горного рельефа – зоны линейментов, подтверждённые геологическими работами как разломы. К ним приурочены вулканы.

На эколого-геоморфологической карте о. Парамушир показаны высотные ландшафтные пояса – индикаторы опасных процессов экзоморфогенеза. В верхнем ярусе рельефа в гольцовом тундровом поясе (1816–1000 м) развиты катастрофические и угрожающие процессы на склонах современных вулканов (выбросы пирокластики, излияния лавы, лахары, пеплопады, парогазовые выбросы, обвалы, оползни). В нижних ярусах рельефа развиты три высотных ландшафтных пояса – стланиковый, лугово-кустарниковый, участки лугов и болот. В соответствии с каждым поясом развиты снежные лавины, обвалы и другие склоновые процессы. Например, в высоком холмогорье (1000–600 м) на склонах действующих и потухших вулканов, а также на лавовых плато в поясе зарослей кедрового стланика и верещатников, занимающих большую часть острова, развиты угрожающие и опасные снежные лавины, обвалы, камнепады, оползни, осыпи, сели. В среднем холмогорье (600–300 м) и низком холмогорье (300–60 м) с зарослями стлаников и низкотравными лугами типичны линейная и русловая эрозия. На морских террасах и на равнинах (до 60 м) распро-

странена лугово-кустарниковая растительность; здесь наблюдаются относительно безопасные процессы – делювиальные, абразионные и другие, см. карты и космические снимки в (Асоян, 2009 а, б).

На космическом спектрозональном фотоснимке о. Итуруп и п-ова Чирип действующий вулкан Богдана Хмельницкого (1585 м) изображён радиальным рисунком эрозионных врезов. На его склонах развиты кедрово-стланиковые сообщества, они выражены светло-бурым цветом на цветном изображении и серым фототонном на чёрно-белом изображении. Ниже по рельефу и на Курильском перешейке преобладают холмы и равнины, поросшие каменно-берёзовыми и ольховыми рощами, на небольших возвышениях – елово-пихтовыми лесами, а в западной части перешейка произрастают дубово-ольховые леса. На террасах встречаются бамбуковые заросли и злаково-низкотравные луга (Асоян, 2009а); они отображены однородным зелёным цветом и светло-серым фототонном на чёрно-белом снимке; эрозионная и редкая речная сеть выделяется дендритовидным рисунком.

Остров Шикотан, расположенный в Малой Курильской гряде, отличается от островов Большой Курильской гряды отсутствием современного вулканизма. Однако повышенная сейсмичность (до 10 и более баллов) и явления цунами с Тихого океана здесь особо угрожающи (Асоян, 2009а, с. 201). На острове развиты среднее и низкое мелкогогорья (60–300 м). На чёрно-белом космическом фотоснимке, полученным с системы "Ресурс-Ф", чётко выражены спрямлённые зоны тектонической трещиноватости, разделяющие остров на отдельные блоки; к ним приурочены отрицательные элементы рельефа (рис. 3). Возвышенные участки выделяются почти чёрным фототонном изображения с извилистыми границами благодаря произрастающими на них елово-пихтовым лесам. На склонах на переувлажнённых местах растут низкорослые пихтарники и ельники – они выражены тёмно-серым фототонном. На длинных пологих склонах преобладает серый фототон – это лиственничные леса с каменной берёзой, дубом и бамбуком (последние распространены в основном на западной части острова). Светло-серым фототонном почти до белого отображены относительно выровненные участки равнин, поросшие антропогенно изменёнными лугами с зарослями бамбука. Короткие речные долины, ложбины и заболоченные понижения выражены на снимке дендритовидным рисунком в виде тонких прерывистых нитей почти чёрного фототона (это криволесья, стланиковые и бамбуковые заросли).

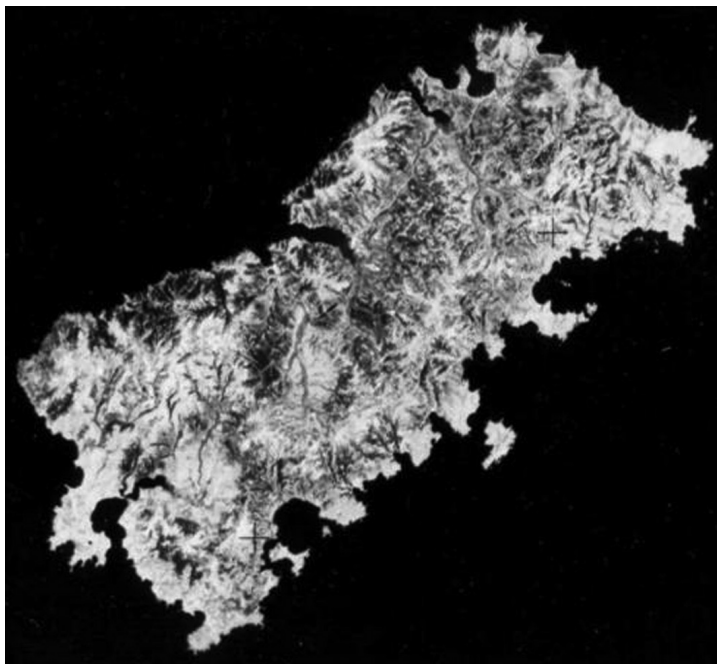


Рис. 3. Космический фотоснимок юга о. Парамушир, получен с борта МКС-NASA-МИР

Здесь развиты опасные экзогенные процессы высокой интенсивности: обвалы и обрушения в холмогорьях, на высоких террасах, склонах крутизной 15° ; абразионные и аллювиальные процессы на низких морских и речных террасах, на обрывах высотой 40–60 м, а также в сейсмогенных рвах (рис. 4, 5). В понижениях, на поймах и болотах, сложенных влагонасыщенными грунтами, возможны землетрясения повышенной силы на 1–2 балла (особенно в зонах тектонической трещиноватости).

Относительно безопасные процессы средней интенсивности (делювиальные и плоскостной смыв) наблюдаются в средних холмогорьях, а обвально-осыпные процессы – на невысоких холмах со склонами в 15° и меньше. На равнинах и морских террасах типичны делювиальные процессы и плоскостной смыв, глубинная эрозия; на низких речных террасах – аллювиальные процессы и русловая эрозия. Вдоль побережья существует угроза цунами – на северо-западе высота заплеска волны может достигать 5 м, а на юго-восточном – 15 м. Кроме того, о. Шикотан может оказаться под влиянием пеплопадов

и парогазовых выбросов при извержениях действующих вулканов с ближайшего о. Кунашир.

Чилийско-Аргентийские Анды. Изучение дешифровочных признаков ареалов опасных экзогенных процессов проведено по космическому спектральному фотоснимку, полученному с ИСЗ «Ресурс» на центральную часть Чилийско-Аргентийских Анд в масштабе 1:400 000. Составлена эколого-геоморфологическая карта Продольной долины (котловина Ранкагуа) в масштабе 1:1 000 000 (Asoyan, 2016). В высокогорье Центральной Кордильеры (2000–5856 м) нивально-гляциальный пояс на космическом фотоснимке выражен почти белым однородным цветом. В поясе развиты действующие вулканы Сан-Хосе и Майпо с характерными для них частыми извержениями, высока сейсмичность. В субнивальной холодной горной пустыне развит эпизодический растительный покров, а в поясе горных степей – сообщества злаков, низких трав и андских колючих кустарников высотой 40–50 см (маторалль); они отображены светло-бурым цветом. В этих поясах развиты катастрофические, угрожающие и опасные гляцио-обвальные процессы, нивация, лавины, сели, осыпи и обвалы. Рельеф среднегорья (600–2000 м) выражен перистым и дендритовидным рисунком. Здесь произрастают жестколистные леса типа омброфитов (тёмно-коричневый цвет изображения лесов на склонах западных экспозиций и более светло-коричневый цвет на склонах восточных экспозиций), а в Береговой Кордильере – склерофильные жёстколистные леса в водораздельных частях (светло-коричневый цвет). Под пологом лесов проявляются опасные денудационные, пролювиальные, делювиальные процессы, линейная и глубинная эрозия, плоскостной смыв. В низкогорье ниже 600 м рельеф отображен дендритовидным рисунком. Произрастает разреженный ксерофильный колючий кустарник, изменённый под антропогенным воздействием (светлый зеленовато-коричневый цвет). В днище Продольной долины с котловиной Ранкагуа развиты относительно безопасные эрозионные и делювиальные процессы, а также плоскостной смыв. В долине р. Качапоатль типична глубинная и боковая эрозия. Всё это видно на космическом фотоснимке и эколого-геоморфологической карте в чёрно-белых и цветных тонах (Asoyan, 2016).

Центральная Америка. На космическом спектральному фотоснимке, полученном с ИСЗ «Ресурс-Ф», изображены Восточная Куба, горы Сьерра-Маэстра и равнина Кауто. Эколого-геоморфологическая

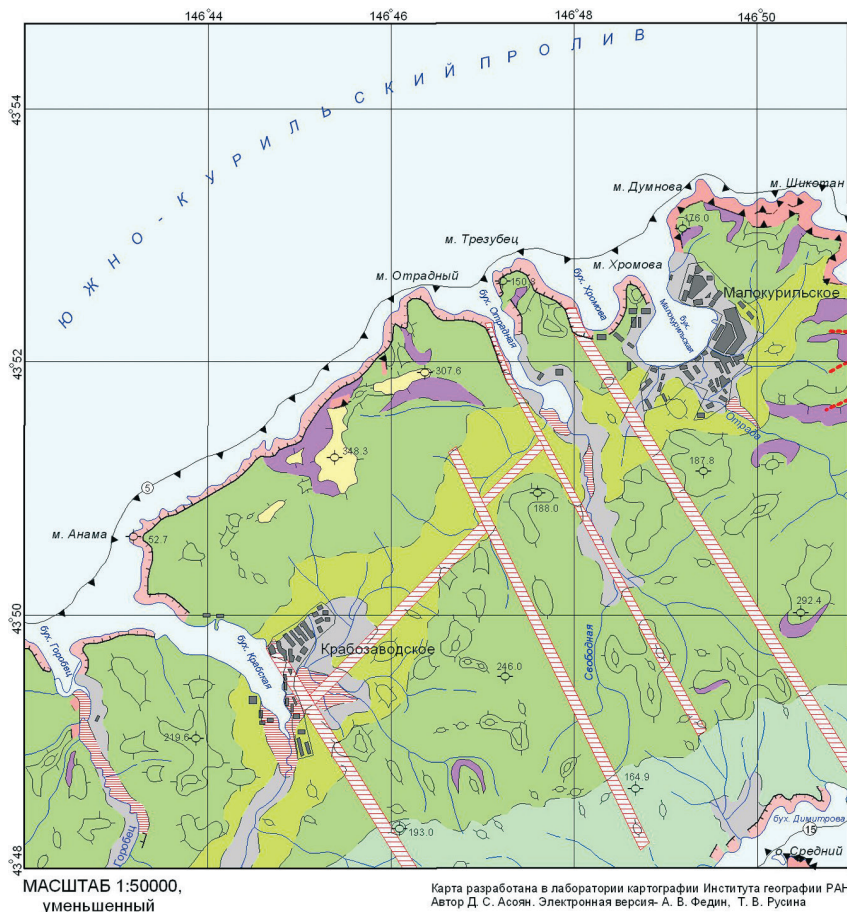











схема составлена для центральной части гор Сьерра-Маэстра в масштабе 1:200 000. В средних и низких ступенях (500–1974 м) рельеф выражен крупно-перистым рисунком; темно-зелёный цвет соответствует влажным тропическим лесам с высокой сомкнутостью крон. В низких ступенях произрастают разреженные леса – это зеленоватый и светло-коричневый цвет, а для рельефа характерен мелко-перистый рисунок. На средних и низких ступенях на обвально-осыпных склонах крутизной 10–20° и аккумулятивных 6–10° в лесном поясе тропические процессы весьма интенсивны: это обвалы и осыпи, солифлюкция, карст, эрозия. Формируются коры выветривания и мощный слой делювия, а в основании крутых склонов оползни. Абразивные процессы про-

Условные обозначения	Комплексы процессов (степень опасности процессов)	Интенсивность и повторяемость процессов	Морфографические ярусы рельефа, абс. высоты в м, крутизна склонов
 комплекс 1	I. Угрожающие и опасные эндогенные процессы* Сейсмогенные: Обвалы, осыпи, линейная эрозия	высокая, о. Шикотан находится в зоне 9-балльной сейсмичности. Повторяемость землетрясений: 7 баллов-3-5 лет, 8 баллов-5-10 лет, 9 баллов-50-100 лет	вероятнее повышение силы землетрясений на 1-2 балла: на средних и низких холмогорьях, высоких террасах (60-80-300 м) со склонами более 15
 комплекс 2	Абразионно-аллювиальные	высокая	на низких морских и речных террасах (до 20 м), на болотах и заболоченных участках, сложенных водонасыщенными песчано-глинистыми и биогенными отложениями
 комплекс 3	Абразионный, обвалы, осыпи	высокая	на обрывах высотой более 40-60 м
 комплекс 4	Абразионный, осыпи	высокая	на обрывах и уступах менее 40 м
 комплекс 5	II. Относительно безопасные экзогенные: Делювиальный, плоскостной смыв	средняя	среднее холмогорье (300-405 м), плоские водоразделы с останцами
 комплекс 6	Обвально-осыпные, делювиальный, плоскостной смыв, линейная и русловая эрозия	средняя	низкое холмогорье (100-300 м) со склонами менее 15
 комплекс 7	Делювиальный, линейная и русловая эрозия	средняя	низкое холмогорье, равнина 40-60-100 м
 комплекс 8	Делювиальный, глубинная эрозия, плоскостной смыв	средняя	низкое холмогорье, высокие морские террасы на юго-восточном побережье (40-60-250 м)
 комплекс 9	Абразионно-аллювиальный, русловая эрозия	слабая	нижний ярус, речные террасы 2-5 м и 15 м

Примечание: * о. Шикотан находится под воздействием факторов потенциальной вулканической опасности: пеплопадов и парогазовых выбросов при извержениях вулканов на о. Кунашир (Головинна, Менделеева, Тятя).

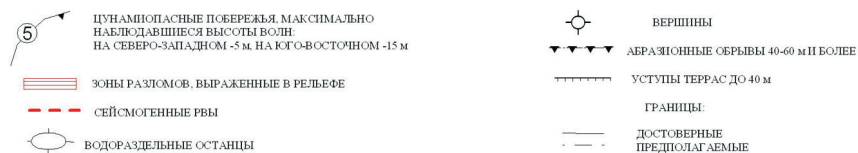


Рис. 4. Карта «Опасные рельефообразующие процессы и явления на территории Малокурульское – Крабовозводское, о. Шикотан»; а) легенда к карте

являются на побережье вдоль южного сбросового склона. В предгорьях на склонах произрастают полулистопадные и вечнозелёные тропические леса. При частом прохождении циклонов и ураганов здесь развиты угрожающие паводки. Относительно безопасны природные процессы лишь на равнине Кауто. Космический фотоснимок и эколо-



Рис. 5. Северное побережье о. Шикотан. Фото Г.Л. Коффа

го-геоморфологическая схема центральной части гор Сьерра-Маэстра (Восточная Куба) в масштабе 1:200 000 в чёрно-белых и цветных тонах приведены в (Asoyan, 2016).

Заключение

1. Сравнительный анализ дешифровочных признаков процессов экзоморфогенеза показал, что они, несмотря на специфику региональных ландшафтных и геолого-геоморфологических условий, выражены идентичными ландшафтными индикаторами в умеренном (Большой Кавказ, Курильские острова), субтропическом (Чилийско-Аргентинские Анды) и тропическом (Восточная Куба, горы Сьерра-Маэстра) широтных географических поясах.

2. Наиболее надёжные индикаторы – почвенно-растительные высотные пояса и особенности строения растительного покрова. Они отображены на космических снимках цветом или плотностью фототона изображения; при этом важен не сам цвет и фототон, а их контрасты для сопряжённых в пространстве растительных сообществ.

3. Катастрофические и угрожающие комплексы нивально-гляциальных процессов выражены на космических снимках однородным почти белым цветом (и фототоном) в высокогорьях Северной-Осетии,

Чилийско-Аргентинских Андах и в гольцовом поясе на о. Парамушир в Курилах. Среднегорья (холодные горные пустыни и степи в Чили и в межгорных котловинах Северной Осетии с разреженным травянистым покровом и опасными склоновыми процессами) отображены слабо насыщенными цветами изображения и гаммой серых и светло-серых фототонов. Лесные высотные пояса в низкогорьях с относительно безопасными склоновыми процессами индицируются на снимках Северной Осетии, Чили, в горах Сьерра-Маэстра на Восточной Кубе, а также на островах Итуруп и Шикотан в Курильской гряде наиболее тёмными и насыщенными цветами и почти чёрным фототоном изображения, характерными для лесов.

4. Благодаря применению ландшафтно-индикационного метода анализа ареалов проявлений экзогенных процессов по космическим снимкам достигается объективное и точное выделение границ их ареалов на эколого-геоморфологических картах, что не обеспечивается полевыми работами и традиционным картографированием.

5. Визуальный метод, выполняемый мыслительным аппаратом человека с его ассоциативным мышлением, интеллектом и научной интуицией, не может быть полностью заменён автоматизированным дешифрированием. Поэтому при автоматизированной обработке космических снимков целесообразно привлекать визуальный анализ в качестве контрольного на завершающем этапе работ.

Литература

- Асоян Д.С. Опыт геоморфологической интерпретации космических многозональных и разносезонных изображений равнин (на примере Средне-Русской возвышенности) // Геоморфология. 1981. № 1. С. 50–56.
- Асоян Д.С. Оценка эколого-геоморфологической опасности по материалам космических съёмок // Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология). Кн. 1. М.: Медиа-ПРЕСС, 2002. С. 229–259.
- Асоян Д.С., Буланов С.А., Горбунов О.В. Эталоны фотообразов рельефа на космических изображениях // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. № 4. С. 75–82.
- Асоян Д.С. Опасные рельефообразующие процессы и явления: «Парамушир, Северо-Курильск и окрестности», «О. Парамушир», «Курильск-Рейдово, о. Итуруп», «Южно-Курильск-Менделеево, о. Кунашир», «Малокурильское-Кробо заводское, о. Шикотан» // Атлас Курильских островов. М. – Владивосток: Изд. ИПЦ «ДИК», 2009а. С. 196–201.

- Асоян Д.С. Эколого-геоморфологическое картографирование Курильских островов: методы, принципы, критерии оценки экологической обстановки // Изв. РАН. Сер. геогр. 2009б. № 4. С. 94–103.
- Асоян Д.С. Эколого-геоморфологическое картографирование горных стран по материалам аэрокосмических съёмок // Геоморфология и картография: Материалы XXXIII пленума Геоморфологической комиссии РАН. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 2013. С. 267–273.
- Асоян Д.С. Структурно-геоморфологическое картографирование Северной Осетии–Алании с применением аэрокосмических изображений // Вопросы географии. Вып. 140. Современная геоморфология. М.: 2015. С. 341–355.
- Асоян Д.С. Методика эколого-геоморфологического картографирования горных стран в субтропиках и тропиках по космическим изображениям // Материалы XXXV пленума Геоморфологической комиссии РАН. Т. 1. Симферополь, 3–8 октября 2016 г. Симферополь. 2016. С. 316–320.
- Асоян Д.С., Белоновская Е.А., Грачева Р.А., Чернавская М.М., Трихунков Я.И. Комплексные исследования природно-антропогенных процессов в межгорных котловинах Северной Осетии–Алании // XIV съезд РГО, 11–14 декабря 2010 г. Сб. научных работ. Т. 4. Часть 3. СПб: электронный ресурс, 2010. С. 366–373.
- Асоян Д.С., Белоновская Е.А., Чернавская М.М. Межгорные котловины Северной Осетии–Алании // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 3. С. 71–85.
- Асоян Д.С., Рототаева О.В. Девдоракский ледник, Казбек: к истории исследований природных катастроф в XIX и начале XXI века // Снег и Лёд. 2016. Т. 56. № 2. С. 253–264.
- Аэрокосмические методы геологических исследований. СПб: Изд-во СПб картфабрики ВСЕГЕИ. 2000. 316 с.
- Викторов А.С. Рисунок ландшафта. М.: Мысль, 1986. 120 с.
- Котляков В.М., Асоян Д.С., Кононова Н.К., Осокин Н.И., Рототаева О.В. Особенности катастрофических природных процессов на Северном Кавказе на рубеже XX–XXI вв. // Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Т. 3. Опасные природные явления на поверхности суши: механизм и катастрофические следствия. М.: Пробел 2000, 2008. С. 190–209.
- Котляков В.М., Рототаева О.В., Носенко Г.А., Десинов Л.В., Осокин Н.И., Чернов Р.А. Кармадонская катастрофа: что случилось и чего ждать дальше. М.: Издательский дом "Кодекс", 2014. 184 с.
- Ревзон А.А., Садов А.В., Бурлешин М.Н. Аэрокосмические методы изучения рельефообразующих процессов в инженерных целях // Вопросы географии. 1979. № 111. С. 103–108.
- Сладкопевцев С.А. Изучение и картографирование рельефа с использованием аэрокосмической информации. М.: Недра, 1982. 83 с.
- Asoyan D.S. Cartografía ecogeomorfológica: Montañas tropicales y subtropicales en las imágenes cósmicas // Cuba Geográfica. 2016. № 3. P. 7–11. on-lain URL <http://www.geoportalcuba.com>

D.S. Asoyan

**LANDSCAPE INDICATION OF EXOMORPHOGENETIC
HAZARDOUS PROCESSES ON A BASE OF SPACE IMAGES
OF MOUNTAIN AREAS**

The theoretical and methodical problem, how to analyze visually the interpretative features of exogenous processes in tectonically active mountain areas on a base of space images, is not sufficiently clarified in literature as yet. According to the results of various space images interpretation, field research, aerovisual observations as well as ecogeomorphological mapping the indirect landscape indicators of relief features and areas of hazardous slope processes occurrence were identified. Systematization, generalization, and comparative analysis resulted in a conclusion that the interpretative features are identical for all example orogens situated in various geographical zones – temperate (the Great Caucasus, the Kuril Islands), subtropical (the Chilean and Argentinean Andes), and tropical (the Sierra Maestra Range in the Eastern Cuba) ones – despite the specific character of regional landscape, geological, and geomorphological conditions. The most reliable landscape indicators for areas of hazardous exomorphogenetic processes occurrence are soil and vegetation altitudinal belts as well as structural features of vegetation cover.

Б.А. Новаковский, П.Е. Каргашин, А.М. Карпачевский

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ: ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ

Введение

Электрические сети представляют собой совокупность объектов генерации, линий электропередач (ЛЭП), электрических подстанций и других объектов, участвующих в передаче и распределении электроэнергии. Эти объекты являются ключевыми составляющими энергосистемы, связывая воедино электростанции и конечных потребителей. Карты электрических сетей и их свойств играют существенную роль в хозяйстве, так как позволяют анализировать внутреннюю структуру сетей во взаимосвязи с природными и социально-экономическими условиями, прогнозировать чрезвычайные ситуации, связанные с авариями, а также комплексно подходить к вопросам проектирования новых линий электропередач, электростанций и подстанций. Сложное внутреннее устройство электрических сетей, их своеобразная пространственная конфигурация требуют особого подхода к картографированию.

При картографировании электрические сети должны рассматриваться не сами по себе, а с учётом их географического окружения. В этом заключается существенное отличие от сугубо инженерного подхода, когда электрические сети или отдельные ЛЭП картографируются в отрыве от географической среды. Сами сети при этом выступают как набор элементов (геометрических примитивов). В некоторых случаях их картографическое изображение редуцируется до уровня схем, лишаясь математической основы и основанных на ней пространственных отношений. Безусловно, недооценивать такой подход нельзя, он оказывается очень эффективным для решения ряда задач, где важно показать структуру и топологические особенности сети, или когда необходимо отразить план трассы со всеми ключевыми пересечениями с коммуникациями. В отличие от такого подхода, когда мы говорим о геоинформационном, географическом картографировании, объектом исследования и картографирования выступает территория, а предметом – электрические сети или связанные с ней свойства окружающей среды. В связи с этим представляется важным разработка

географического подхода к картографированию электрических сетей и его геоинформационная реализация.

Образ электрических сетей на космических снимках

Существует множество источников картографирования электрических сетей: порталы технологического присоединения отдельных электросетевых компаний, портал Ситуационно-аналитического центра Минэнерго, Публичная кадастровая карта, Схемы и программы развития электроэнергетики, открытые картографические веб-сервисы (Openstreetmap) и пр. Самым же объективным источником информации следует считать космические снимки очень высокого (1–10 м) и сверхвысокого разрешения (менее 1 м), которые доступны через многочисленные картографические веб-сервисы, самый известный среди которых – Google Maps и программа-клиент Google Earth.

Линии электропередач на космических снимках такого разрешения видны достаточно хорошо, чтобы изучать их маршруты, пространственную структуру и конфигурацию, конструктивные особенности. Два ключевых свойства ЛЭП, отражающие их географическую сущность, представляется возможным извлечь именно по данным дистанционного зондирования. К этим свойствам относятся: 1) позиционная составляющая, т.е. трасса линии (геометрия) и её взаиморасположение, связь с другими ЛЭП (топология); 2) видовой состав опор, т.е. конструктивное исполнение линии. Видовой состав опор, как правило, характеризует линию в аспектах её возраста, напряжения, пропускной способности, конфигурации проводов воздушной линии (Каргашин и др., 2016). Выявление этих свойств и их обобщение в комплексные показатели позволяет формулировать требования к картографированию электрических сетей.

Трасса линии воспринимается на космическом снимке как совокупность отдельных опор, относящихся к одной и той же ЛЭП. В случае залесённой территории она дополнительно индицируется просекой, что позволяет её дешифровать даже по снимкам высокого (10–30 м) и относительно высокого пространственного разрешения (30–100 м). При этом опоры, которые необходимы для получения информации о напряжении, количестве цепей, видовом составе, топологических особенностях маршрута воздушных линий, распознаются, как правило, по прямым геометрическим дешифровочным признакам – теням. Очевид-

но, что при постоянном пространственном разрешении с увеличением размера опоры, которое обычно сопровождается увеличением номинального напряжения, возрастает и шанс верной интерпретации свойств ЛЭП.

Такой подход, когда по космическому снимку дешифрируется не только геометрия линии, её номинальное напряжение, но и видовой состав опор, позволяет точно определять размер охранных зон. Их ширина обусловлена напряжением ЛЭП и откладывается от проекции крайнего провода, положение которого зависит от вида опоры. Так, например, горизонтальное расположение проводов на опоре существенно увеличивает суммарный размер охранной зоны по сравнению с вертикальным расположением. Таким образом, при смене видовых составов на одной воздушной линии размер охранной зоны также будет меняться. Это может быть обусловлено метахронностью, т.е. разновременным характером строительства воздушной линии. Смена видового состава может быть обусловлена участком разрезки на промежуточную подстанцию или пересечением с разделением двухцепной линии на две одноцепные под позже построенной ЛЭП более высокого класса напряжения.

Учёт описанных здесь особенностей позволяет внести уточнения в Публичную кадастровую карту и вести мониторинг, например, зарастания просеки древесно-кустарниковой растительностью. Вместе с тем это решает проблему инвентаризации сведений о текущем состоянии воздушной линии, которая может состоять из множества участков разного возраста, видов опор, пропускной способности и других технико-экономических характеристик.

Охранные зоны играют важную роль как ограничивающие факторы при проектировании новых линий электропередач. Так, при автоматизированном выборе трассы новой ЛЭП необходимо ввести формальные ограничения на пересечения с существующими воздушными линиями. Такие ограничения связаны с существенным удорожанием при строительстве и проигрыше в надёжности эксплуатации пересекающихся линий.

Представление ЛЭП в базах пространственных данных

К ключевым характеристикам ЛЭП, отражаемым на карте, относятся род тока, напряжение, конструктивное исполнение, назначение и использование (Лютый, 1971). Пространственные и атрибутивные

составляющие объектов электрических сетей могут быть описаны разными способами. Мы выделяем два основных подхода, которые в конечном счёте различаются в выборе единиц картографирования.

Первый подход – топологическое представление, где объектом в базе пространственных данных и на карте выступает цепь ЛЭП. Данный подход подразумевает корректное отражение топологии сети, т.е. всех связей внутри неё. На основе данного подхода электрические сети могут быть представлены в виде сетевой модели, для которой доступны типичные операции сетевого анализа: трассировка от пункта до пункта, нахождение кратчайшего пути и т.д. По мере уменьшения масштаба топология сети остаётся корректной, но реальная геометрия искажается, линии раздвигаются, что особенно хорошо заметно в крупных коридорах ЛЭП, где параллельно идут несколько линий.

Второй подход – топографическое представление, для которого существует жёсткая привязка к масштабу картографирования. Двухцепные линии в этом случае представляются в виде одного объекта, а при сильном уменьшении масштаба даже десяток параллельно идущих воздушных линий могут слиться в одну. Таким образом, восстановить реальную топологию сети не представляется возможным.

Специфика электрических сетей обуславливает неоднозначность в объектно-ориентированном подходе. Представление цепи в виде одного объекта в базе пространственных данных осложняется случаями отпаяк (линий, присоединённых в промежуточной точке к другой линии). Такие «тройки» могут быть представлены как объекты с составной геометрией, однако они зачастую некорректно работают в рамках сетевой модели данных. Дробление линейного объекта в месте стыка ведёт к появлению трёх отдельных объектов, которые могут быть объединены только с помощью глобального идентификатора.

Все обозначенные выше особенности ставят перед нами методологическую проблему генерализации, которая по своим приёмам сильно отличается от генерализации других типов географических сетей. За счёт того, что, как правило, ЛЭП строятся не по одной, а в коридорах с параллельными существующими линиями, при уменьшении масштаба картографирования возникает необходимость раздвигания линий. Такие коридоры могут быть осложнены пересечениями, изменениями порядка цепей, разрезками, отпайками и другими пространственными конфигурациями (рис. 1). Таким образом, при уменьшении масштаба и сохранении топологии сети картографическое представление кори-

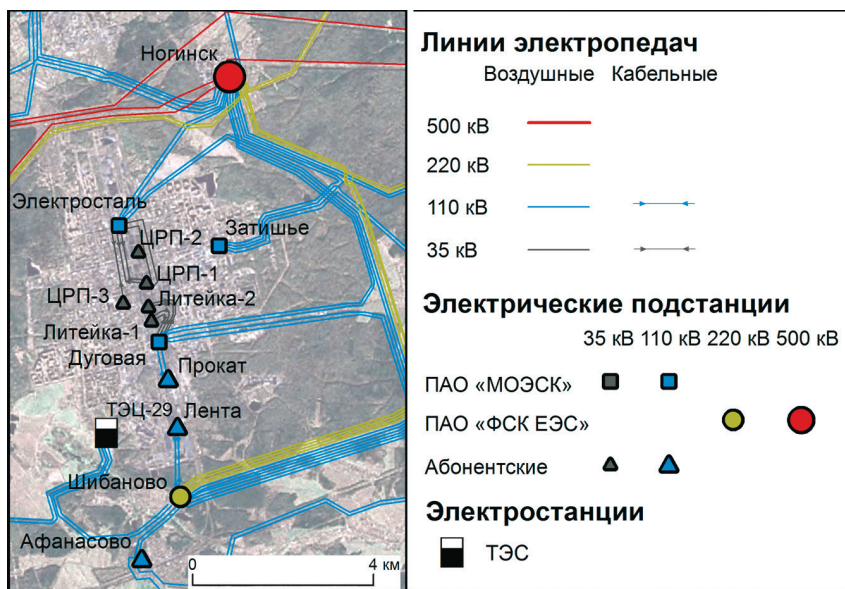


Рис. 1. Фрагмент карты электрических сетей 35–500 кВ

доров сильно преувеличивается, но особенности конфигурации сети наглядно отображаются, что важно при изучении пространственной структуры электросетей.

Актуальные направления геоинформационного картографирования электрических сетей

Требования к исходным данным и способам представления в базе пространственных данных диктуются тематикой и масштабом исследования. Ниже рассматриваются новые направления картографирования, актуальные в связи с планированием развития электрических сетей в целом и отдельных ЛЭП в частности.

Картографирование структуры электрических сетей. Обобщение высокодетальных данных о трассах ЛЭП в более мелких масштабах, соответствующих региональному и федеральному уровням картографирования, требует собственных подходов, которые позволяют сохранить представление о сложившейся конфигурации сети. Конфигурация сети играет важную роль с точки зрения надёжности

функционирования всей энергосистемы. Исследования морфологии разных типов сетей проводились и ранее (Тархов, 2005), однако они касались преимущественно таких транспортных сетей как железные и автомобильные дороги. Ключевым инструментом подобных исследований служит понятийный аппарат теории графов. Данная теория формализует представления о сети как о совокупности узлов и рёбер, причем рёбра могут быть взвешенными по расстоянию, времени или другим показателям, характеризующим сопротивление перемещению.

Для нашей страны изучение структуры электросетей и разработка методов её картографирования особенно актуально в виду наличия изолированных энергосистем. Из-за отсутствия связей с единой энергосистемой нет возможности резервирования местных объектов генерации, что сказывается на общей устойчивости изолированной энергосистемы к аварийным ситуациям. Одновременно с этим большую роль играют сложные природные условия и слабая освоенность территории, повышающие риск долгосрочного отключения конечного потребителя. Большая часть таких энергосистем сосредоточена на Дальнем Востоке (рис. 2). Некоторые из региональных энергосистем сами по себе не едины, а состоят из отдельных энергорайонов и энергоузлов. Наиболее ярко такая структура представлена на Камчатке.

Картографирование структуры любой сети опирается на их топологическое описание, которое эффективнее всего выполняется с применением понятий теории графов. Одна из последних работ, в которой представлена попытка картографирования топологической сложности сети на примере железнодорожного транспорта, основана на использовании индексов Канского, в частности, индекса β (Чибряков, 2015). Однако электрическая сеть, в отличие от железнодорожной и автомобильной, отличается выраженной иерархичностью, т.е. сильной дифференциацией по степени вершин графа (количеству рёбер, смежных с одной вершиной). Это обуславливает неадекватность оценки структуры сети с помощью индексов Канского.

Самым востребованным показателем структуры стала оценка структурной уязвимости сети, т.е. вероятностный показатель, описывающий устойчивость энергосистемы к каскадным авариям. На примере объединённых энергосистем России и Европы с помощью симуляционной модели были рассчитаны показатели устойчивости, отражённые на карте (Фаддеев, 2016). Изолированные энергосистемы при этом не рас-

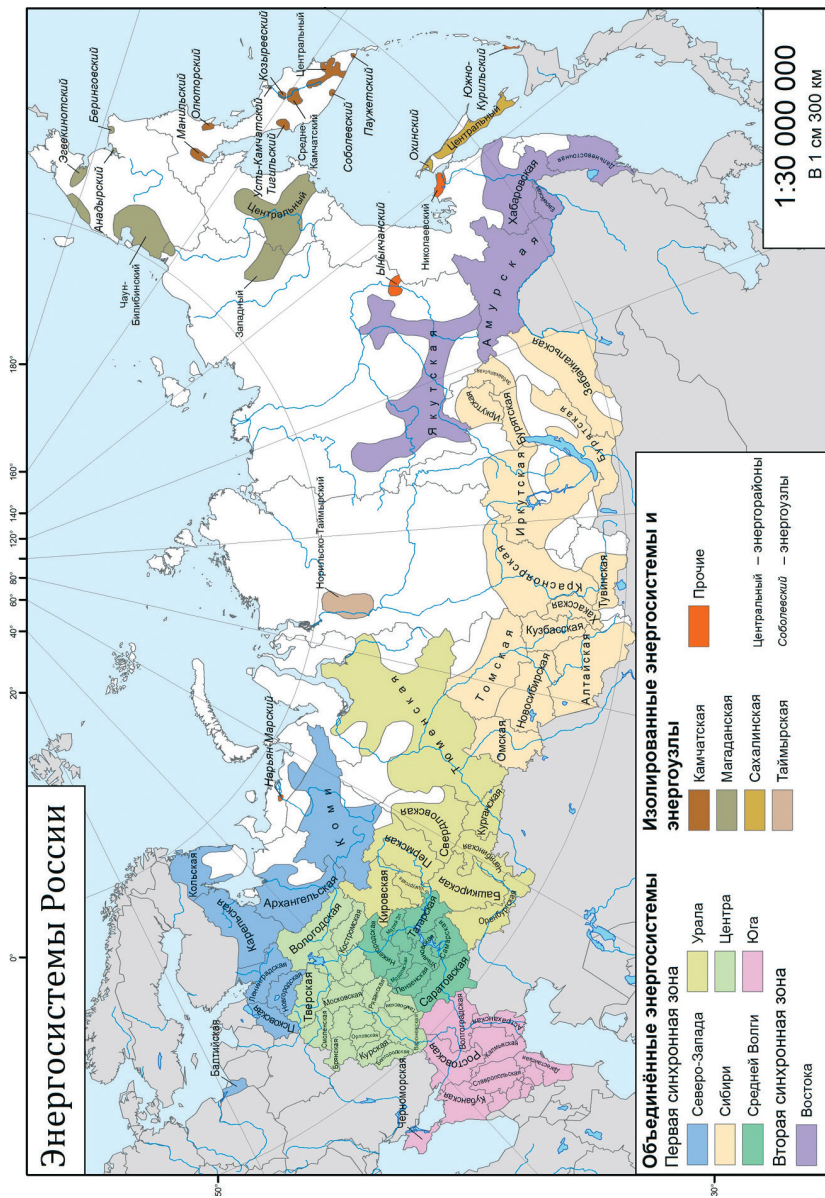


Рис. 2. Карта энергосистем России

сматривались из-за небольшого количества объектов магистральных электросетей. Это обусловлено слабой достоверностью результатов, полученных в результате случайного удаления элементов сети при их небольшой выборке. В противном случае симуляционная модель будет давать неадекватную оценку структурной уязвимости.

В результате возникает необходимость разработки методики аналитической оценки устойчивости, т.е. без вероятностного моделирования аварийных ситуаций. Такая оценка может быть основана на показателях 1) степени – количестве присоединённых линий к точке; 2) центральности – количестве проходящих через каждый объект кратчайших маршрутов от всех электростанций до всех остальных вершин. Использование этих показателей позволяет косвенно оценить количество альтернативных вариантов энергоснабжения конечного потребителя и оценить загрузку каждого узла, т.е. его важность для функционирования энергосистемы (Карпачевский, Филиппова, 2016; Новаковский и др., 2017). Основной недостаток такого подхода связан с игнорированием реальной конфигурации сети, т.е. особенностей тех маршрутов от электростанций до рассматриваемой подстанции, по которым происходит энергоснабжение потребителя.

Другой вариант оценки структурной уязвимости связан с расчётом топологической длины маршрута от объекта генерации до потребителя. Под топологической длиной понимается количество промежуточных рёбер графа на пути от начальной точки до конечной. Рёбра взвешиваются в зависимости от их пропускной способности, в результате для каждой подстанции, включая промежуточные, может быть рассчитано кратчайшее взвешенное топологическое расстояние. Поскольку каждая вершина может участвовать в нескольких маршрутах, для неё выбирается максимальное значение топологической удалённости, которое принимается в качестве оценки структурной уязвимости вершины.

Такой подход обуславливается предположением, что чем больше топологическое расстояние, тем больше вероятность выпадения одного из рёбер в результате аварии. В данном случае не учитывается наличие альтернативных маршрутов, но в любом случае вероятность выпадения промежуточного ребра на них будет больше. Для наглядной визуализации полученных показателей проводится интерполяция, результат которой может быть представлен как в виде псевдоизолиний с послышной окраской, так и в виде количественного фона.



Рис. 3. Карта оценки структурной уязвимости через взвешенное топологическое расстояние

В обоих случаях следует ограничиваться населённой территорией, т.е. исключать из интерполяции территории без центрального энергоснабжения. Пример такой карты представлен на рис. 3. Карты подобного содержания позволяют наглядно оценить необходимость

в совершенствовании электрических сетей путём увеличения пропускной способности, резервирования и строительства новых ЛЭП.

Картографирование территории с точки зрения строительства и эксплуатации линий электропередач. После того как произведена картографическая оценка состояния электрических сетей, а также изучена их конфигурация и найдены структурно уязвимые места, возникает необходимость в оценке территории с точки зрения строительства новой ЛЭП. Естественно, данная оценка будет многовариантной и неоднозначной, что связано с разными подходами к технологическому проектированию. В первую очередь определяется класс напряжения и цепность строящейся линии, а также способ её прокладки (воздушная или кабельная).

Выбор типового проекта применяемых опор и марки провода во многом определяется климатическими нагрузками, к которым относятся максимальная скорость ветра и максимальная мощность гололёдно-изморозевых отложений, вероятные раз в 25 лет. Существующее мелкомасштабное районирование (Строительные...; Правила..., 2013) даёт лишь примерное представление о климатических нагрузках, в то время как при конкретном проектировании обращаются к региональным климатическим картам. Методика составления таких карт подразумевает учёт как значений, зафиксированных на гидрометеостанциях, так и влияние подстилающей поверхности, рельефа (Методические..., 2010).

Тем не менее критерии оценки орографической защищённости и высоты местности не находят своего географического обоснования, в отличие методики, предложенной О.А. Подрезовым (1990). Данная методика подразумевает расчёт климатических показателей в зависимости не от абсолютных, а приведённых высот (нормализованные значения высот от нуля у подножья хребта до единицы у вершины хребта). Эти зависимости дифференцируются в зависимости от относительной высоты местности и её орографической защищённости. Результаты моделирования на примере юга о. Сахалина согласуются с общими представлениями о распределении климатических нагрузок на изучаемой территории (Новаковский и др., 2016).

Помимо климатических нагрузок при проектировании ЛЭП опасны природные явления, отражающие региональную специфику территории. Это могут быть карстовые и термокарстовые явления, суффозия, наледи, оползни. Например, для Сахалина существенны лавины

и сели. При картографировании лавинной опасности чаще всего приемлем подход, основанный на анализе условий лавинообразования, а не на обобщении точечных данных, локализованных в крупном масштабе. Ведущими факторами лавинообразования считаются рельеф и снежный покров. Сочетание их картографических оценок позволяет перейти к прогнозу лавинной опасности (Ревякин, Кравцова, 1978).

Итоговая оценка лавинной опасности даётся в баллах, а единицей картографирования служат водосборные бассейны, которые в рамках функционального подхода представляют динамическое сочетание различного рода элементов рельефа (Ретеюм, 1975). Существуют разные способы интегрирования балльных оценок нескольких факторов: одни авторы используют простое сложение (Перов, 2012), другие – умножение (Арманд, 1973), но наиболее предпочтительным считается использование среднего геометрического (Симонов, 1998).

При эколого-географической оценке строительства и эксплуатации ЛЭП целесообразно использование в качестве единиц картографирования природно-территориальных комплексов, которые в рамках генетического подхода могут быть выделены на основе обобщения представления об отдельных компонентах ландшафта (Ретеюм, 1975). Так, литогенная основа оценивается через морфометрию и размываемость слагающих почвогрунтов, растительный покров – через его средообразующие функции, в том числе возможности развития процесса заболачивания в результате вырубki просеки (Каргашин, Карпачевский, 2014). Для почвенного покрова также возможна эколого-экономическая оценка, основывающаяся на содержании гумуса изымаемой из оборота территории (Изерская и др., 2007).

Нормативные ограничения, включая санитарные, также играют существенную роль при проектировании ЛЭП: это соблюдение охранной зоны, которая зависит от напряжения и вида применяемых опор, исключение территорий, непроходимых при строительстве (например, населённых пунктов), особо охраняемых природных территорий, памятников культуры и др.

Автоматизация выбора трассы ЛЭП. Описанные выше факторы, относящиеся и к территории, и к особенностям самих сетей, играют существенную роль при выборе трассы ЛЭП. Их покомпонентное картографирование не позволяет сделать вывод о том, какая трасса ЛЭП будет оптимальной и, тем более, формализовать сам процесс трассирования новой линии. Таким образом, при автоматизации процедуры

выбора трассы с помощью геоинформационных технологий возникают две концептуальные проблемы: алгоритмическая и оценочная.

Алгоритмическая проблема связана с выбором модели представления данных и выбором самого алгоритма поиска пути наименьшей стоимости (Геоинформатика..., 1999). В общем виде эти модели даются графами, которые по-разному могут быть представлены в базе пространственных данных и визуализированы на карте. Изначально это было векторное нерегулярное представление, которое нашло своё применение при проектировании кабельных линий электропередач в городской черте (Summic et al., 1993; Lin et al., 1995). Граф строился на основе сети улиц и дорог, вдоль которых возможна прокладка кабеля. Каждое ребро такого графа может быть взвешено с точки зрения благоприятности строительства: ширина улицы, наличие коллектора с существующими коммуникациями, пересечения с другими коммуникациями и т.д. Очевидно, что такой подход по умолчанию решает проблему транспортной доступности проектируемого линейного сооружения, но в то же время он сильно ограничен существующей сетью улиц, поскольку невозможна прокладка кабельной линии между ними (условно через квартал), а в негородской местности оказывается вовсе неэффективным.

Второе представление графа – в виде регулярной сетки, визуализируемой как растр. Такой подход получил наибольшее развитие, а начинался он с оценки экспертно выбранных трасс на основе данных дистанционного зондирования (Vega, Sarmiento, 1996). Позже этот процесс был автоматизирован с использованием алгоритмов поиска кратчайшего пути (алгоритмы Дейкстры, Ли и др.). В отличие от предыдущей модели растровая поверхность, получившая название поверхности стоимости, позволяет использовать для выбора трассы всю площадь исследуемой территории. В то же время сохраняется проблема ограниченности в выборе направлений движения из ячейки в ячейку: как правило, используется правило ферзя (соседями считаются восемь ячеек вокруг каждой ячейки, существенно реже – правило коня (Yu et al., 2003). В результате, при автоматизированной трассировке создаются артефакты в случаях, когда перемещение должно выполняться не строго в направлении центров соседних ячеек.

Другой аспект алгоритмической проблемы связан с учётом пересечений с иными линейными объектами, в том числе существующи-

ми сетями, поскольку формально линейные объекты не могут быть однозначно выражены в растровой модели данных. Таким образом, формализация вариантов сближения и пересечения с учётом анизотропии линейных объектов, т.е. разной стоимости перемещения в зависимости от направления пересечения, алгоритмически еще проработана слабо.

Оценочная проблема, как уже отмечалось выше, относится к синтезу аналитических оценок территории и сетей в единую, на основе которой строится поверхность стоимости. Балльные оценки обычно рассчитываются экспертным путём, и для этого могут использоваться методы аналитических иерархий (Wang et al., 2014), нечётких аналитических иерархий (Eroglu, Audin, 2015), дельфийский метод (Houston, Johnson, 2006). Рассчитанные веса отдельных факторов группируются в так называемые группы интереса (stakeholders), например, инженерные, экологические и другие. Каждой группе также присваивается вес, что делает процесс принятия решения гораздо более гибким (Bevanger et al., 2014).

Несмотря на развитость средств формализации экспертных оценок, они всё равно остаются недостаточно объективными. Другая методика создания поверхности стоимости опирается на сметную документацию, на основе которой рассчитываются коэффициенты удорожания отдельных факторов (например, углы наклона, проницаемость грунтов). Такой подход хорошо работает на примере трубопроводов (Рыльский, 2009), для которых факторы удорожания строительства хорошо формализованы и сведены в нормативную документацию. Для ЛЭП полный перечень формализованных факторов удорожания отсутствует, что делает невозможным экономически обоснованное создание поверхности стоимости без привлечения экспертных оценок.

Заключение

Электрические сети существенно отличаются по своей пространственной структуре, функционированию и динамике от других типов географических сетей. В связи с этим возникает необходимость в привлечении специфических методов и разработке особых подходов к их картографированию. Одновременно с потребностью в системном

отображении пространственной информации об электрических сетях, включая их состояние, размещение и топологические отношения, остро стоит проблема обеспеченности картографического обеспечения предпроектных исследований, где ключевую роль играет оценка территории с точки зрения возможности строительства новых линий электропередач. В конечном итоге такая оценка позволяет существенно сэкономить на проектных изысканиях, ограничиться реальными вариантами строительства и избежать проблем при согласованиях с различными организациями.

Литература

- Арманд Д.Л. Наука о ландшафте. М.: Мысль, 1975. 288 с.
- Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. М.: ГИС-ассоциация, 1999. 204 с.
- Изерская Л.А., Захарченко А.В., Цыцарева Л.К. К методике эколого-экономической оценки лесных земель при строительстве ВЛ СВН // Вест. Томского гос. ун-та. 2007. № 299. С. 201–203.
- Каргашин П.Е., Карпачевский А.М. Методика крупномасштабного картографирования для эколого-географической оценки территории при проектировании высоковольтных линий электропередач // Инженерная экология. 2014. № 6. С. 32–42.
- Каргашин П.Е., Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Карпачевский А.М. Изучение пространственной конфигурации электросетей по космическим снимкам // Геодезия и картография. 2016. № 3. С. 50–55.
- Карпачевский А.М., Филиппова О.Г. Картографическая оценка вероятности каскадных аварий в изолированных энергосистемах востока России // ИнтерКарто/ИнтерГИС 22. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата. Материалы Междунар. науч. конф. Т. 2. М.: Издательский дом Научная Библиотека, 2016. С. 61–65.
- Лютый А.А. Карты энергетики научно-справочного типа. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. М., 1971. 216 с.
- Методические указания по расчету климатических нагрузок в соответствии с ПУЭ-7 и построению карт климатической нагрузки. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС». 2010.
- Новаковский Б.А., Каргашин П.Е., Карпачевский А.М. Геоинформационное моделирование климатических нагрузок на ЛЭП (на примере юга о. Сахалин) // Геодезия и картография. 2016. № 10. С. 49–55.
- Новаковский Б.А., Прасолова А.И., Карпачевский А.М., Филиппова О.Г. Картографирование структуры изолированных энергосистем (на примере

- Камчатского края, Магаданской и Сахалинской областей) // Геодезия и картография. 2017. № 4. С. 44–50.
- Перов В.Ф. Селевдение. Учебное пособие. М.: географический факультет МГУ, 2012. 272 с.
- Подрезов О.А. Опасные скорости ветра и гололедные отложения в горных районах. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 224 с.
- Правила устройства электроустановок: по состоянию на 1 февраля 2008 г. Вып. 7. М.: КНОРУС, 2013.
- Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. Томск, Изд-во Томского гос. ун-та 1978. 190 с.
- Ретеюм А.Ю. Физико-географическое районирование и выделение геосистем // Вопросы географии. Вып. 98. М., 1975. С. 5–27.
- Рыльский И.А. Влияние факторов географической среды на автоматизированное трассирование трубопроводов. М.: МАКС Пресс, 2009. 192 с.
- Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. Москва–Смоленск: Изд-во Смоленского гос. ун-та, 1998. 272 с.
- Строительные нормы и правила 2.01.07-85. Нагрузки и воздействия.
- Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск–Москва, Изд-во «Универсум», 2005. 384 с.
- Фаддеев А.М. Оценка уязвимости энергосистем России, стран Ближнего зарубежья и Европы // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2016. № 1. С. 46–53.
- Чибряков Я.Ю. Развитие картографического метода для исследований железнодорожной сети России. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. М., 2015. 27 с.
- Bevanger K., Bartzke G., Brøseth H., Dahl E.L., Gjershaug J.O., Hanssen F., Jacobsen K.-O., Kleven O., Kvaløy P., May R., Meås R., Nygård T., Refsnæs S., Stokke S., Thomassen J. Optimal design and routing of power lines; ecological, technical and economic perspectives (OPTIPOL). Final Report; findings 2009–2014. NINA Report, 2014. 92 p.
- Eroglu H., Audin M. Optimization of electrical power transmission lines' routing using AHP, fuzzy AHP, and GIS // Turk Journ. Electric Engineering & Computer Science. 2015. № 23. P. 1418–1430.
- Houston G., Johnson C. EPRI-GTC Overhead Electric Transmission Line Siting Methodology. Georgia, CA: Georgia Transmission Corporation, 2006. 198 p.
- Lin W.M., Tsay M.T., Wu S.W. Application of geographic information system for substation and feeder planning // Electrical Power & Energy Systems. 1995. V. 18. № 3. P. 175–183.
- Summic Z., Venkata S.S., Pistorese T. Automated underground residential distribution design. Pt. 1: conceptual design // IEEE Transactions on Power Delivery. 1993. V. 8. № 2. P. 637–643.
- Vega M., Sarmiento H.G. Image processing application maps optimal transmission routes // IEEE Computer Applications in Power. 1996. V. 9. № 2. P. 47–51.
- Wang Y., Huang W., Li, Y., Tu Q-B, Tian X. Optimal design of transmission line route based on GIS // Applied Mechanics and Materials. 2014. V. 644–650. P. 3522–3527.

Yu C., Lee J., Munro-Stasiuk M.J. Extensions to least-cost path algorithms for roadway planning // Intern. Journ. of Geography Information Science. 2003. V. 17. № 4. P. 361–376.

B.A. Novakovskiy, P.E. Kargashin, A.M. Karpachevskiy

**GIS MAPPING OF ELECTRICAL NETWORKS:
APPROACHES AND METHODS**

Electrical network as a subject of mapping is considered in this paper. Its spatial structure specificity and some approaches to its representation in a spatial database and a map are described. Methods for spatial structure estimation are defined, which could be used to identify the need for a new power lines construction. We consider some features of mapping and territory estimation regarding the new power line construction and approaches to automation of the route selection process using GIS-technologies. The main methodological problems of spatial structure and territory estimation formalization concerning the power line design are highlighted.

П.Е. Каргашин

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ И ВРЕМЕННЫХ АСПЕКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТА УГЛЕВОДОРОДОВ

Введение

Нефтегазовая отрасль страны имеет более чем 100-летнюю историю. С середины XIX в. фокус добычи постепенно смещался на восток и на север с Кавказского региона в Сибирь. Параллельно с освоением новых месторождений менялась и география, и технология транспорта нефти и газа, основным способом стали магистральные трубопроводы, соединяющие районы добычи и потребления. Общая протяжённость трубопроводов составляет примерно 200 тыс. км, а более 30 тыс. км были сооружены ранее 1980-х годов (Забродин, 2006) Эта краткая информация об истории нефтегазового комплекса страны позволяет сделать несколько выводов, определяющих актуальные направления географических и экологических исследований в данной области. Во-первых, в настоящий момент объекты нефтегазового комплекса представлены практически во всех природных зонах, функционируют в самых разных природных условиях. Во-вторых, обеспечение добычи, транспорта и переработки углеводородов требует строительства и бесперебойного функционирования большого количества разнообразных объектов. В-третьих, время существования многих объектов нефтегазового комплекса насчитывает десятилетия.

Указанные технические, пространственные и временные аспекты изучения нефтегазового комплекса определяют особенности экологических исследований на территориях их размещения. Изучение взаимодействия объектов добычи, транспорта и использования углеводородов с окружающей средой должно учитывать различные природные и социально-экономические условия, в которых функционируют указанные технические сооружения. Сложность условий строительства и эксплуатации обуславливает большие объёмы работ и провоцирует обратное воздействие окружающей среды на трубопроводы и инфраструктуру месторождений, создаёт опасность аварийных ситуаций, влияет на долгосрочность конструкций и пр.

Пространственный аспект экологических исследований влияет на представление результатов взаимного воздействия природных и технических объектов в текстовых материалах, на картах и т.п. На разных уровнях рассмотрения проблемы используются различные территориальные единицы – ассейны, административно-территориальные единицы, природно-территориальные комплексы разного ранга и принципов выделения. Поэтому дать целостную и сравнительную характеристику масштаба и степени воздействия нефтегазового комплекса для разных территорий крайне затруднительно.

При исследовании необходимо также учитывать временной период, в течение которого происходит взаимодействие объектов нефтегазового комплекса и окружающей среды. Длительная добыча нефти и газа на месторождениях Западной Сибири привела к существенной трансформации природных комплексов (Московченко, 1998).

Указанные проблемы экологических исследований и картографирования территорий добычи и транспортировки нефти и газа могут быть разрешены на базисной основе, учитывающей специфику нефтегазовой отрасли как источника воздействия на окружающую среду. Это позволит обобщить материалы исследований, проводить ретроспективный анализ, дать четкое и объективное представление результатов изучения воздействия в широком диапазоне масштабов карт.

Предлагаемая работа опирается на опыт тематического картографирования и систематизирует авторские исследования, предлагая общий подход к проектированию, созданию и использованию карт, отражающих состояние территорий добычи и транспортировки углеводородов с учетом технических, пространственных и временных особенностей объекта исследования.

Современное состояние

Экологическая тематика в изучении территорий добычи и транспорта углеводородов уже давно нашла своё отражение в географических исследованиях, при этом специфика картографирования определила ряд направлений, которые существенно различаются по тематике и масштабу.

Здесь прежде всего надо отметить прикладное эколого-географическое картографирование, результаты которого составляют основу

картографических приложений инженерно-экологических изысканий, материалов по оценке воздействия на окружающую среду (Стурман, 2003; Хаустов, Редина, 2006). Содержание и масштаб таких карт в основном определяются нормативными источниками (СП 47.13330.2012; СТО Газпром 2-3.5-454-2010) и учитывают состав работ по экологическому обеспечению нефтегазовых проектов (Бухгалтер и др., 2007). Масштаб картографирования в основном крупный, но на отдельных этапах составляются карты средних масштабов. Экологическая тематика в этом направлении представляется в виде серии карт, в которую входят карты природы (растительности, почвенного покрова, ландшафтов и т.д.) и землепользования, а также геоэкологические карты, характеризующие существующее воздействие человека на окружающую среду.

Экологическое картографирование нефтегазовой отрасли в научных исследованиях характеризуется значительным разнообразием подходов к оценке антропогенного воздействия на окружающую среду, территориальных единиц, способов изображения и графических приёмов, масштабов картографирования и т.п. Рассмотрим несколько ярких примеров мелкомасштабного картографирования воздействия нефтегазовой отрасли на окружающую среду.

На карте «Антропогенные нарушения природной среды» масштаба 1:15 000 000 из 2-го тома Национального атласа России (2008) территории добычи углеводородов отнесены к специализированному типу функциональной нагрузки – горнодобывающему – и характеризуются исключительно высоким техногенным воздействием. Приведены также компоненты природной среды, на которые оказывается воздействие: нарушение структуры почв и грунтов, загрязнение поверхностных и подземных вод, изменение состава и температуры нижних слоев атмосферы. Карта «Воздействие нефтепроводного и газопроводного транспорта» из указанного атласа составлена в масштабе 1:30 000 000 показывает качественную оценку воздействия на окружающую среду, сформированную на основе таких критериев как диаметр труб, число ниток и рабочее давление трубопроводов.

В «Экологическом атласе России» (2002) приведены две карты, которые напрямую касаются рассматриваемой тематики: «Опасность воздействия нефтепроводного транспорта», «Газопроводный транспорт». Опасность нефтепроводов оценивается исходя из факторов выноса и деградации углеводородов в почвах. Помимо этого, карты содержат информацию о положении трубопроводов, а также необходимых объектов инфраструктуры.

В «Атласе природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации» (2005) объекты трубопроводного транспорта рассматриваются как потенциальная угроза окружающей среде, в связи с чем внимание уделено показу объектов как источников воздействия, а также риску возникновения чрезвычайной ситуации в результате опасных природных явлений (наводнения, землетрясения, деформации многолетнемёрзлого грунта и пр.). Такая информация представлена на картах «Подверженность трубопроводного транспорта воздействию природных источников чрезвычайным ситуациям», «Опасность и риск чрезвычайных ситуаций на объектах нефтеперерабатывающей и газодобывающей промышленности», выполненных в масштабах 1:15 000 000 и 1:20 000 000 соответственно.

Важную роль играет картографирование воздействия нефтегазового комплекса на региональном уровне, особенно для тех регионов, где сосредоточена основная добыча углеводородов: в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах, Тюменской области. Среди карт, имеющих отношение к нефтегазовой тематике, встречаются как инвентаризационные (расположение объектов), так и оценочные, например: «Оценка природных условий для освоения нефтяных и газовых месторождений» (Атлас Тюменской области, 1:4 000 000, 1971 г.), Карта эколого-криологического районирования Тюменской области» (1:2 000 000, 1991 г.) и др.

Дополнительно следует отметить, что воздействие объектов нефтегазового комплекса входит в состав карт, характеризующих общее экологическое состояние природно-территориальных комплексов или административно-территориальных единиц. Приведённые примеры мелкомасштабных карт, отражающих воздействие нефтегазовой отрасли на окружающую среду, в общем соответствуют основным направлениям эколого-географического картографирования (Кочуров и др., 2009).

При этом важен вопрос о выборе элементарной пространственной единицы, для которой выполняется оценка воздействия. Например, М.А. Глазовская в качестве элементарной пространственной единицы использует технобиогеом (Голубев и др., 1995), В.С. Преображенский – единицу землепользования (Оценка..., 1985).

Средне- и крупномасштабные исследования выполняются для территорий добычи углеводородов, а также прохождения трубопроводов. Карты экологической тематики часто присутствуют в работах, иллюстрирующих оценку воздействия техногенных объектов на природную

среду. В публикациях значительное внимание уделяется методическим аспектам выявления воздействия, технологиям пространственного анализа, обоснованию показателей нагрузки и их картографированию. Важным источником информации в таких исследованиях служат данные дистанционного зондирования, среди которых важную роль играют снимки со спутников Landsat, TERRA. Они доступны, в том числе за несколько десятилетий, не требуют оплаты за использование в научных целях. Это позволяет подобрать временной ряд изображений и проследить трансформацию территории в процессе её хозяйственного освоения. При этом снимки высокого (10–100 м) разрешения часто комбинируют с очень высоким (1–10 м) разрешением (Kumpula et al., 2010).

Типичным подходом служит подбор и дешифрирование снимков с помощью авторских алгоритмов классификаций или комбинирования широко известных приёмов, проверка тестовых участков в полевых условиях, создание базы пространственных данных, создание и анализ серии карт (Шарикалов, Якутин, 2014). Такие исследования часто основаны на изучении фоновых ландшафтов и выявлении изменений за нужный период времени. Результат выражается в серии карт или схем дешифрирования в крупном или среднем масштабах; иногда речь идёт о геоинформационной системе, а также наборе алгоритмов и инструментов для обработки снимков и расчёта тематических показателей.

Нередко в эколого-географических исследованиях недостаточно полно отражается специфика нефтегазового комплекса, что приводит к недооценке или, наоборот, переоценке воздействия добычи и транспорта углеводородов на окружающую среду. Исследование изменений часто базируется на паре снимков, которые описывают весь период целиком, но не дают понимания темпов и тенденций изменения природной среды в районах добычи и транспорта углеводородов. Для многих иностранных исследований характерно отсутствие генерализации и оформления материалов дешифрирования, а артефакты, полученные при классификации многозональных снимков, существенно затрудняют качественный и количественный анализ демонстрируемых результатов (например, Kuwari, Kaiser, 2011). Картографическая интерпретация результатов и обобщение показателей в таких исследованиях значительно уступает произведениям, размещённым в атласах, а показатели по своей сути проще.

Отметим основные черты эколого-географического картографирования территорий добычи и транспортировки нефти и газа, сложившиеся к настоящему моменту: 1) крупно- и среднemasштабное карто-

графирование базируется на космических снимках, но автоматизация тематической обработки пока не даёт нужных результатов и главным приёмом остаётся визуальное дешифрирование; 2) эколого-географическая тематика раскрывается в виде серии карт, отражающих природные, техногенные объекты, а также результаты и процесс их взаимодействия; 3) крайне мало примеров создания мультимасштабных карт в нефтегазовой тематике, хотя это направление сейчас востребовано и активно развивается; 4) результаты картографирования часто несопоставимы не только из-за масштабов и разных технологий создания карт, но и в результате разных подходов к оценке воздействия, применяемых специалистами производственной сферы и учёными; 5) не всегда показывается динамика изменения территории, чаще фиксируются изменения за определённый, часто длительный, период времени, что не позволяет понять изменение интенсивности антропогенного воздействия.

В работах автора статьи представлены результаты исследований территорий, где ведётся добыча углеводородов, строительство или функционирование объектов трубопроводного транспорта. Опыт исследований охватывает разные природные зоны и типы объектов, работы проводились как по данным дистанционного зондирования различного разрешения, так и с привлечением карт, материалов полевых обследований и других источников данных. В рамках работ сформулировано целостное представление по вопросам эколого-географического картографирования территорий размещения объектов нефтегазового комплекса на основе данных дистанционного зондирования, геоинформационного анализа пространственной информации и картографического представления результатов исследования. Ниже приведены результаты исследований территорий добычи и транспорта углеводородов, охватывающие как вопросы использования данных дистанционного зондирования, так и построения системы карт, описывающих экологическую обстановку.

Дешифрирование данных дистанционного зондирования

Изучение возможностей использования космических снимков разного разрешения в диапазоне от 2 до 30 м, показало, что несмотря на различную детальность изображения объектов, информативность изображений, полученных со спутников Landsat, высока и

позволяет применять их для выявления источников воздействия на окружающую среду и оценки нарушенности природных комплексов (Каргашин, 2015). Выявленные дешифровочные признаки позволяют распознавать элементы инфраструктуры месторождения и трубопроводного транспорта нефти и газа, а также с достаточной точностью и достоверностью выделять природные комплексы. Наилучшим образом нефтегазовые объекты распознаются по зональным снимкам в красном и ближнем инфракрасном диапазонах, а также по синтезированным изображениям в сочетаниях SWIR-Red-Blue, NIR-Red-Green (Каргашин, 2014).

В исследованиях использовались снимки со спутников Landsat, что объясняется их доступностью, высоким разрешением, а также возможностью проследить изменения природной среды под воздействием добычи и транспорта нефти с 1970-х годов. Слежение за трансформацией территорий приводит к необходимости обработки значительного количества снимков, а значит, автоматизации процессов тематической интерпретации изображений. Для выявления механических нарушений были опробованы различные способы обработки изображений: контрастирование, пространственные и статистические фильтры, расчёт индексных изображений, методы главных компонент, независимых компонент, классификация и кластеризация.

Экспериментальные исследования на территории Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения показали, что для дешифрирования техногенных объектов, которые не имеют сплошного распространения, наиболее удобно использовать метод независимых компонент с выделением двух или трёх компонент, а также создавать синтезированное изображение, включающее один из каналов исходного снимка, независимую компоненту и главную компоненту, которые наиболее чётко показывают техногенные объекты. Сочетание перечисленных методов позволило выделить кустовые площадки, населённый пункт, площадки установок комплексной подготовки газа, дороги, а также больше половины промысловых газопроводов.

Полнота выделения участков, занятых промышленными объектами, в значительной степени зависит от спектральных характеристик природных объектов, что даёт разные результаты даже в пределах одного месторождения. Например, в поймах рек техногенно нарушенные территории «сливаются» с естественными объектами. Таким образом, выбор нужной методики или алгоритма дешифрирования

должен опираться на ландшафтное районирование изучаемой территории (Каргашин, Каргашина, 2016).

Картографирование в разных масштабах

Информация, полученная путем дешифрирования данных дистанционного зондирования, позволяет выполнять экологический анализ территории, составлять карты, отражающие состояние природной среды. Однако изображение территории в одном масштабе не всегда достаточно для оценки воздействия; например, более мелкий масштаб позволяет перейти к интегральным показателям и выявить закономерности более общего порядка. Составляемые карты должны быть выполнены в серии масштабов и при изменении масштаба содержание карты должно адекватно меняться. Это хорошо видно на примере картографирования источников воздействия в пределах месторождений.

Для территории Саяно-Алтайского месторождения, которое характеризуется длительным периодом освоения и высокой плотностью техногенных объектов, было выявлено восемь масштабных диапазонов, охватывающих крупно- и среднемасштабное картографирование. Масштабы были подобраны по результатам статистического анализа размеров полигональных объектов разного типа. Так, для каждого типа объектов инфраструктуры месторождения был вычислен масштаб, на котором следует сменить представление объекта в базе пространственных данных с полигонального на точечный (Каргашин, Полотнянко, 2015). Представленные результаты составления карт в разных масштабах находятся в русле мультимасштабного картографирования и могут составить основу для автоматизации отбора и обобщения пространственных объектов, корректировки содержания карт. Однако при исследовании экологического состояния следует учитывать не только облик изображаемой территории в разных масштабах, но и динамику промышленного освоения, а значит, и воздействия на природную среду.

В исследованиях на территории Хохряковского (Каргашин, Ясев, 2016) и Заполярного (Каргашин, 2014) месторождений показано, что количественный состав и соотношение объектов разных типов не остаётся неизменным на протяжении существования месторождения. Процесс промышленного освоения территории был показан в двух формах: 1) серия карт промышленной инфраструктуры месторожде-

ния по состоянию на разные даты; 2) flash-анимация промышленного освоения территории. Одним из преимуществ последнего служит его наглядность. Плавная смена карт, отражающих различные состояния месторождения, позволяет проследить за тем, что происходило на территории за 30-летний период освоения Хохряковского месторождения. Созданные картографические материалы дают возможность провести как качественный, так и количественный анализ произошедших на территории изменений.

Кроме того, проведённое исследование позволяет увидеть, что суммарная площадь территории, занятая техногенными объектами (без учёта линейной инфраструктуры), увеличилась со 111 га (0,54% от площади месторождения) в 1985 г. до 647 га (3,1% от площади месторождения) в 2009 г. В 2015 г. наблюдается уменьшение этой площади до 620 га (Каргашин, Ясев, 2016).

После рассмотрения отдельных аспектов картографирования территорий добычи и транспорта углеводородов с отображением изменений в пространстве и с течением времени логично продолжить проектирование системы карт, которое обобщало бы имеющиеся результаты. В прикладных исследованиях таким решением считается создание геоинформационной системы, что не всегда даёт ответ на методологические вопросы, не обеспечивает системность картографирования.

В качестве основы проектирования системы картографического обеспечения экологических исследований мы выделили ведущие пространственные и временные факторы, определяющие специфику эколого-географического картографирования объектов нефтегазовой отрасли. К этим факторам отнесены: стадия жизненного цикла, этапность и периодичность эколого-географических исследований, тип специфика производственных процессов на разных объектах, фактические размеры площадок размещения агрегатов и некоторые другие.

В соответствии с жизненным циклом объекта нефтегазовой отрасли определяется оптимальный масштаб и детальность картографирования, а также составляется перечень карт, которые наилучшим образом позволят показать взаимодействие нефтегазового комплекса с окружающей средой. Тем не менее, на любом из этапов картографирования вся серия карт делится на четыре блока: природный, социально-экономический, нефтегазовый, экологический. Количество карт в каждом блоке может различаться, но есть сюжеты, которые должны составляться на каждом этапе. К числу таких карт относятся: природ-

но-территориальные комплексы, использование земель, размещение основных и вспомогательных объектов, оценка существующего воздействия и прогноз изменений окружающей среды (Каргашин, Каргашина, 2016). Карты такого содержания охватывает все направления эколого-географического картографирования объектов нефтегазового комплекса, применимы для разных масштабов, имеют сложившиеся принципы мелко-, средне- и крупномасштабного картографирования. Создание таких карт на каждом этапе позволит обеспечить связь между разными этапами и уровнями экологических исследований.

Заключение

В представленной статье показаны результаты исследований, которые демонстрируют возможности дистанционного зондирования и современных технологий в картографии и геоинформатике для обеспечения эколого-географических исследований. Предлагаемый подход базируется на следующем: воздействие объектов нефтегазовой отрасли разнообразно; каждый объект имеет свою специфику, при этом в разных природных зонах она различна. Для изучения воздействия необходимо обеспечить регулярность получения информации, с тем чтобы интерпретировать изменения разных показателей. Результат анализа невозможно выразить одной картой даже самого сложного содержания или одним интегральным показателем. Воздействие необходимо показывать сериями разномасштабных карт, отражающих множество временных срезов и все стадии жизненного цикла объекта нефтегазового комплекса.

Необходимым, но недостаточным источником информации в таких исследованиях служат данные дистанционного зондирования. Отправной точкой эколого-географического анализа и картографирования территории является выявление источников воздействия, т.е. техногенных сооружений. Эти объекты уже свидетельствуют о наличии механического нарушения, трансформации почвенного покрова, уничтожении растительности. Более того, знание их местоположения и производственных процессов позволяет оценить опасность и масштаб воздействия. Представленный подход выявляет закономерности и территориальные различия размещения объектов нефтегазового комплекса и их взаимодействия с окружающей средой, а также представляет результаты исследований в максимально доступной форме – картографической.

Литература

- Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации. М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2005.
- Бухгалтер Э.Б., Самсонов Р.О., Будников Б.О., Пыстина Н.Б., Загородняя А.А. Экология газового комплекса. М.: Научный мир, 2007. 383 с.
- Голубев Г.Н., Касимов Н.С., Тикунов В.С. Геоинформационное и картографическое обеспечение экологических программ // Экология. 1995. № 5. С. 339–343.
- Забродин Ю.Н., Коликов В.Л., Михайличенко А.М., Саруханов А.М. Управление нефтегазостроительными проектами. 2-е изд., доп. М.: Изд-во «Омега-Л», 2006. 475 с.
- Каргашин П.Е. Дешифрирование промышленного освоения территории Заплярного месторождения // Национальная ассоциация ученых (НАУ). Ежемесячный научный журнал. 2014. № 4. С. 132–135.
- Каргашин П.Е. Дешифрирование кустовых площадок месторождения газа по космическим снимкам различного разрешения // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 11. С. 177–182.
- Каргашин П.Е., Каргашина М.А. Система карт для обеспечения экологических исследований производственных объектов нефтегазовой отрасли // Изв. Саратовского гос. ун-та. Новая серия. Сер. Науки о Земле. 2016. Т. 16. № 4. С. 205–209.
- Каргашин П.Е., Полотнянко К.В. Картографирование промышленного освоения Самотлорского нефтяного месторождения в разных масштабах // Символ науки. 2015. № 11. С. 265–270.
- Каргашин П.Е., Ясев П.С. Картографирование промышленного освоения Хохряковского нефтяного месторождения // Вест. Тюменского гос. ун-та. Экология и природопользование. 2016. Т. 2. № 4. С. 20–32.
- Кочуров Б.И., Шишкина Д.Ю., Антипова А.В., Костовска С.К. Геоэкологическое картографирование. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 192 с. [24 с. цв. вкл.]
- Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск: Наука, 1998. 112 с.
- Национальный атлас России. В 4 томах. Т. 2. Природа. Экология. М.: Роскартография, 2008.
- Оценка влияния хозяйства на природу. Воздействия, изменения, последствия / Под ред. В.С. Преображенского и В. Ворачека. Брно: СЭВ, 1985. 377 с. СП 47.13330.2012 Свод правил. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения, 2012.
- СТО Газпром 2-3.5-454-2010 Правила эксплуатации магистральных газопроводов, 2011.
- Стурман В.И. Экологическое картографирование: Учебное пособие. М.: Аспект Пресс, 2003. 251 с.

- Трубопроводный транспорт России. Обзор аналитического отдела инвестиционной компании «Церих Кэпитал менеджмент», 2008.
- Хаустов А.П., Редина М.М. Охрана окружающей среды при добыче нефти. М.: Дело, 2006. 450 с.
- Шарикалов А.Г., Якутин М.В. Анализ состояния таежных экосистем с использованием методики автоматизированного дешифрирования // Изв. Алтайского гос. ун-та. 2014. Т. 1. № 3 (83). С. 123–127.
- Экологический атлас России. М.: Изд-во Карта, 2002.
- Kumpula T., Forbes B.C., Stammler F. Remote sensing and local knowledge of hydrocarbon exploitation: the case of Bovanenkovo, Yamal Peninsula, West Siberia, Russia // Arctic. 2010. V. 63. № 2. P. 165–178.
- Kuwari N.Y., Kaiser M.F. Impact of North Gas Field development on landuse/land-cover changes at Al Khore, North Qatar, using remote sensing and GIS // Applied Geography. 2011. № 31. P. 1144–1153.

P.E. Kargashin

MAPPING OF SPATIAL AND TEMPORAL PROPERTIES OF ENVIRONMENTAL STATE OF PETROLEUM PRODUCTION AND TRANSPORT AREAS

Environmental studies in the areas of production and transportation of oil and gas are long enough and are important to the industry. Nowadays application of remote sensing technologies, methods of cartography and geoinformatics has become a practice and is a required component. Despite the considerable number of works in this area, it is not possible to obtain a comprehensive view about the environmental issues. One of the reasons is the lack of consistency in research. The second one is the use of maps and satellite images as auxiliary materials. The article presents the author's experience of research and it is shown here certain aspects of mapping the spatial and temporal characteristics of oil and gas facilities. Moreover here is a general approach to design a system of maps that meets the objectives of environmental studies on oil and gas facilities.

Т.И. Золотова, Т.А. Андреева, М.В. Литвинова

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КУЛЬТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ: ОПЫТ КАФЕДРЫ КАРТОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Понятие историко-культурного наследия

Одним из важнейших достояний человечества является культурное, историческое и природное наследие. Наследие – это один из важнейших ресурсов, определяющих социально-экономическое и социокультурное развитие. Понятие «культура» относится к числу фундаментальных в современном общественном сознании. Трудно назвать другое понятие, которое имело бы такое множество смысловых оттенков. Многообразие его трактовок можно объяснить, прежде всего, тем, что культура выражает глубину и неизмеримость человеческого бытия. В толковом словаре Ожегова даются следующие определения: «Культура – совокупность достижений человечества в производственном, общественном и умственном отношении». «Наследие – явление культуры, быта и т.п., полученное от предыдущих эпох, от прежних деятелей» (Ожегов, 1984).

Современный гуманитарный словарь-справочник П.С. Гуревича даёт следующее определение: «Культура (лат. *Cultura* – возделывание) – феномен, рожденный незавершенностью, открытостью человеческой природы, развертыванием творческой деятельности человека, направленной на поиск сакрального (священного) смысла бытия» (Гуревич, 1999). Таким образом, культура – совокупность материальных и духовных ценностей, жизненных представлений, образцов поведения, норм, способов и приёмов человеческой деятельности, отражающая определённый уровень исторического развития общества и человека, воплощённая в предметных, материальных носителях, передаваемых последующим поколениям.

Одной из современных проблем сохранения культурного и исторического наследия является стереотипный, ограниченный подход к пониманию культурно-исторического наследия как к исключительно материальным, осязаемым, физически существующим объектам. В «Основах Законодательства Российской Федерации о культуре» от

9 октября 1992 г. культурное наследие определено как «материальные и духовные ценности, созданные в прошлом, а также памятники и историко-культурные территории и объекты, значимые для сохранения и развития самобытности Российской Федерации и всех её народов, их вклада в мировую цивилизацию». На самом деле, содержание этого понятия, как и структура культурно-исторического наследия, гораздо шире, сложнее, многообразнее.

Огромное внимание уделял духовному аспекту в формировании окружающей среды и её культурной составляющей выдающийся советский и российский филолог, культуролог и искусствовед Д.С. Лихачев. «Сохранение культурной среды – задача не менее существенная, чем сохранение окружающей природы. Если природная среда необходима человеку для его биологической жизни, то культурная среда столь же необходима для его духовной, нравственной жизни, для его «духовной оседлости», для его нравственной самодисциплины и социальности». Поэтому необходима активная деятельность по сохранению культурно-исторического наследия. Человек, по представлениям Лихачева, формирует особую нравственно-духовную сферу в оболочке Земли, которая определяет развитие всех других сфер и в то же время сама оказывается под сильным их воздействием (Лихачев, 1983).

Культурно-историческое наследие – это совокупность всех материальных и духовных культурных достижений общества, его исторический опыт, сохраняющийся в его памяти, переходящий к новым поколениям, в новые эпохи, который важно сохранять, изучать, искать новое в старом, включать в ход современной человеческой жизни. Использование культурно-исторического наследия способствует развитию личности и формированию новых поколений человеческого общества, формирует будущее России.

Картографирование культурно-исторического наследия как новое важное направление тематической картографии

Проблемы сохранения культурно-исторического наследия тесно связаны с картографированием и служат предпосылкой и стимулом его развития. За последние годы картографирование культурно-исторического наследия превратилось в новое направление тематической картографии. Весомый вклад в развитие картографирования насле-

для сделан специалистами Российского научно-исследовательского института культурного и природного наследия имени Д.С. Лихачева: А.А. Лютым, Ю.А. Ведениным, В.В. Свешниковым, А.И. Ельчаниновым, П.М. Шульгиным и другими. Их заслуга заключается в разработке географической концепции наследия, подходов на основе единства культурного и природного наследия, применения инструментов экологического мониторинга к культурному наследию, концепции уникальной территории, внедрение изучения природного и культурного наследия в высшей школе страны.

О важности картографирования объектов культурно-исторического наследия в настоящее время также говорит тот факт, что изучение и отражение культурно-исторического потенциала территорий может способствовать развитию туристической отрасли, которая не может обойтись без использования карт. Туристские картографические произведения предназначены для обеспечения рекреационных и познавательных потребностей населения. Они используются также для организаторов и исследователей туризма, для учебных, научных и практических целей. Заинтересованность в картографических произведениях растёт, а туристская картография превращается в одно из наиболее интересных и перспективных направлений современной картографии. Туристские карты показывают маршруты путешествий и экскурсионные объекты, центры и районы туризма, а также условия и ресурсы его развития. Для путешествий (походов) традиционно используются общегеографические, в том числе топографические карты и планы городов. Общегеографические карты и планы городов, дополненные туристской информацией, превращаются в туристские карты (Яковлева, 2011).

Таким образом, перед современной картографической наукой открывается возможность творческого простора для создания новых видов картографических произведений для туристических целей.

На кафедре картографии и геоинформатики СПбГУ разрабатываются новые темы и сюжеты для картографирования культурно-исторического наследия, на основе которых в рамках дисциплины «Картографический дизайн», в работе над курсовыми и выпускными квалификационными работами создаются оригинальные картографические произведения. Территориальный охват, масштаб, формат, назначение, области применения, методы и способы создания этих произведений не регламентируются какими-то условными границами. Необходимо, чтобы они выполняли основные функции любого

картографического произведения: образовательную, воспитательную, культурную и эстетическую, а их автор обладал не только высокими профессиональными и техническими навыками, но и определённым творческим подходом к созданию картографических произведений такого рода со знанием предмета картографирования.

Особенности разработки и создания туристских карт

При создании картографических произведений культурно-исторического содержания (туристские карты, буклеты и путеводители, в которых карта служит основным элементом содержания) необходимо достоверно, полно и доступно донести информацию до потребителей. Разрабатываемые туристические произведения должны быть интересными и полезными как отечественному, так и иностранному туристу.

Туристические карты должны обладать выразительностью и наглядностью оформления, сопровождаться иллюстрациями, текстом, оснащены справочными сведениями. Выделяют две группы туристических карт: общие туристские карты и специализированные туристские карты. Общие туристские карты служат для ознакомления с районом, его достопримечательностями, учреждениями по обслуживанию туристов, карты используются для выбора маршрута путешествия. Обзорные карты охватывают: страну в целом, отдельные административно-территориальные единицы и географические регионы. Карты-схемы маршрутов (маршрутные туристские карты) – схемы, показывающие узкую полосу водных, пешеходных, автомобильных и других маршрутов. Туристские планы городов издаются отдельно или как дополнение к обзорным и маршрутным картам или атласам. Группа специализированных туристских карт обширная и имеет свою классификацию. Туристские карты узкой тематики создаются по отдельным видам туристических объектов: литературно-мемориальных мест, архитектурных памятников, памятников природы и т.д.

Большинство стандартных картографических произведений туристской тематики имеют устоявшееся содержание – несут в себе информацию о территории с точки зрения отдыха, досуга, лечения и т.п. По назначению такие карты являются информационно-справочными, издаются отдельно или входят в состав туристских буклетов. В комплексных региональных и краеведческих атласах раздел

«туризм» традиционно представлен одной–тремя картами. Карты имеют однотипное содержание со стандартным набором показателей (указанием достопримечательностей и объектов природного и историко-культурного наследия). Реже в содержание карт внесены туристские маршруты и объекты туристской инфраструктуры.

На этапе проектирования картографических произведений проводится изучение предыдущего опыта по созданию имеющихся аналогичных произведений. Анализ проводится по следующим позициям: назначение; современность и полнота содержания; качество исполнения; качество оформления; особенности использованной знаковой системы; доступность отображаемой информации для восприятия. Проведённая нами аналитическая работа по теме исследования показала, что на данный момент на рынке экскурсионных услуг практически нет карт с подробно нанесёнными маршрутами экскурсий. Чаще всего предлагаются следующие варианты:

1. Экскурсия в «чистом» виде: автобусная или пешеходная под руководством гида-экскурсовода без карт и буклетов.

2. Путеводители по городу, в которых отсутствуют карты, или их немного, преимущественно в виде схем. Такие путеводители большей частью сводятся к текстовому описанию объектов и дают весьма слабое представление о его местоположении и взаимосвязи с другими выдающимися сооружениями и не характеризуют его как звено в неразрывном культурно-историческом ансамбле города.

3. Туристские карты, дают, как правило, неполное представление о выдающихся культурных объектах и памятных местах. В лучшем случае карты снабжены несколькими значками, характеризующими эти объекты.

4. Карты в атласе с нанесёнными маршрутами тематических экскурсий и стандартной нагрузкой (памятники архитектуры, музеи). Неудобство состоит в том, что карта включена в объёмный атлас, пользоваться которым можно лишь в помещении, формат и объём издания не позволяют использовать его в дорожных условиях.

На основании вышесказанного напрашивается вывод о необходимости создания туристических буклетов, которые включали бы карту с экскурсионным маршрутом и пояснения к каждому объекту экскурсии (точный адрес, время постройки, архитектор и наиболее интересные факты, связанные с этим зданием, памятником, любым культурно-историческим объектом), справочную информацию (часы

работы музеев и т.п.). Создание буклетов культурно-исторического содержания с маршрутами экскурсий и пояснениями более наглядно и доступно, это более простое средство для ознакомления человека с предлагаемой тематикой. Поэтому буклет можно использовать не только как дополнение к автобусной экскурсии, но и во время самостоятельного знакомства с городским культурно-историческим ландшафтом, так как в нём заложена вся необходимая информация: маршрут, адрес, краткая справка о каждом объекте. Речь должна идти именно о конкретных маршрутах, при этом карта, входящая в буклет или путеводитель, должна быть легко читаема, не перегружена, логична и отвечать поставленным задачам (теме экскурсии).

Рассмотрим и проанализируем несколько примеров изданных произведений туристической направленности. Возьмём легенду из путеводителя «Санкт-Петербург на перекрестке культур. Французский маршрут» (СПб.: Изд-во «Фрегат», 2003). Из тематической нагрузки карты здесь показаны церкви, соборы, музеи, дворцы, театры, кинотеатры, памятники и т.д. Большинство значков, пожалуй, кроме соборов, и церквей, недостаточно хорошо читаются. Эти условные знаки имеют большое разнообразие цветов и мелких элементов, различение которых затруднительно среднестатистическому читателю карты.

Дополнительное неудобство пользователю доставляет то, что условные знаки на карте несколько мельче, чем те же условные знаки в легенде. Это усложняет их распознавание на картографическом изображении. Данная карта характеризуется избыточной схематичностью и мелкомасштабностью, неудобной для использования в туристских целях. На карте много свободного места, незанятого тематической нагрузкой. Содержание карты и сама основа не создают единого эмоционального образа.

Вторым примером рассмотрим «Карту Санкт-Петербурга и пригородов» (СПб.: ООО «Нева-Принт», 2006). Легенда этой карты читается отдельно от основы существенно лучше, чем в предыдущем примере. Хотя на самой карте она пропадает практически вся, кроме условного знака автозаправочных станций, которые, несомненно, важны для туристов, но они не являются элементом культурного наследия Петербурга, выражающегося в его театрах, музеях и других памятниках архитектуры.

Основа данной карты выделяется на фоне тематического содержания. Она выполнена в более тёмных коричневых и серых цветах, что вносит дисгармонию в облик карты и вызывает снижение читаемости

условных знаков. Требуется приложить значительные усилия, чтобы найти на данной карте интересующую читателя достопримечательность Петербурга, в то время как объекты городской инфраструктуры, такие как автозаправочные станции и больницы читаются значительно лучше.

Цель нашего исследования заключается в раскрытии когнитивных аспектов восприятия карт, позволяющих исключить многие недочёты, связанные с некорректным использованием способов картографического изображения на туристских картах. В частности, знание особенностей цветового восприятия в значительной мере обуславливают правильный выбор цветовой гаммы на картах, обеспечивают хорошую читаемость и наглядность картографического изображения.

Создание любого картографического произведения должно проводиться в несколько этапов. Продумывается тема будущего картографического произведения, проводится сбор и анализ информации по теме картографирования. Одним из обязательных этапов сбора информации служит исследование целевой аудитории, её предпочтений, интересов и потребностей. Изучаются литературные источники (книги, журналы, статьи), а также разнообразный картографический материал (туристические карты, атласы, проспекты и путеводители). Определяется методика картографирования, вид и структура будущего картографического произведения. Определяется масштаб карты в создаваемом произведении, который позволит отразить в максимально доступной форме содержание будущей карты, буклета или путеводителя. Разрабатывается система картографического языка (условные обозначения), формируется легенда. Затем разрабатывается дизайн произведения, выполняется предпечатная подготовка и печать произведений. При создании конечного макета учитываются основные правила цветовых сочетаний, компоновки, вёрстки. Последний этап – печать издания или создание электронной версии карты, буклета или путеводителя. Они могут быть напечатаны на качественной бумаге или существовать только в электронном виде, но они обязательно должны быть доступно оформлены, понятны для пользователя.

Картографический дизайн как отрасль картографии изучает и разрабатывает методы художественного проектирования и оформления картографических произведений средствами традиционной и компьютерной графики (Востокова и др., 2002). В процессе дизайна решается несколько взаимосвязанных задач: оценка и выбор изобразительных средств для проектирования эффективной системы

картографических знаков; применение художественных способов и приёмов (цвета, пластики изображений и др.); дизайн картографического произведения в целом с применением технологий компьютерной графики. Реализация этих задач происходит с учётом основных свойств каждого картографического произведения, его масштаба, типа, назначения и характера использования, размера изображаемой территории, а также технологии издания и полиграфического воспроизведения. Художественное проектирование картографических произведений должно удовлетворять общим требованиям дизайна, к которым относятся выразительность содержания, удобство формы, экономичность и высокое эстетическое качество (Лютый, 1988; Востокова и др., 2002; Берлянт и др., 2003).

Различные аспекты картографического дизайна тесно переплетены с предметом исследования когнитивной картографии. Когнитивная картография – это наука, основанная на когнитивной психологии, т.е. на психологии познавательных процессов. Когнитивная картография учитывает положения картосемиотики и находит пути совершенствования языка карты (Солсо, 2002; Сергиенко, 2004). Восприятие позволяет нам распознать картографическое изображение и воспроизвести его в своём сознании, помогает нам отличить данный объект из ряда подобных, придать ему дополнительные характеристики в связи с прошлым накопленным опытом того или иного читателя. Одно из назначений карты – передавать ощущение, заключённое в картографируемом объекте. Создавая любое картографическое произведение, каждый картограф как художник может передать свои эмоции, ощущения и своё отношение к отражаемой теме. В процессе картографического дизайна очень важно учитывать следующие аспекты когнитивной психологии: восприятие, внимание, память, воображение, язык карты.

В учебном процессе в рамках дисциплин «Оформление карт» и «Картографический компьютерный дизайн», изучаемых на кафедре картографии и геоинформатики СПбГУ, студентам даются знания о формировании структуры и оформления таких картографических произведений как карты, буклеты, путеводители культурно-исторического наследия, с учётом всех требований, которые предъявляются к таким произведениям. В работе над картографическими произведениями применяются несколько методов: аналитический метод, т.е. изучение литературы, визуального и теоретического материала по данной теме; метод проектирования и эскизирования; системный метод, т.е. система-



Рис. 1. Внешняя сторона буклета «Художественные промыслы и ремесла Невского края»

тизирование и отбор необходимой информации, построение на её основе концептуального хода проекта; метод компьютерных технологий; печать готового макета. Подготовка карт, буклетов (рис. 1, 2, 3), путеводителей выполняется с помощью различных программных продуктов.

Рассмотрим серию созданных на кафедре картографических произведений (путеводители, буклеты), проектирование и составление которых выполнено с учётом особенностей восприятия цвета, сформированной знаковой системы, особенностей и требований когнитивной картографии.

На рис. 4 и 5 представлены фрагменты буклета «Жемчужное ожерелье Санкт-Петербурга» по культурно-историческому наследию г. Павловска в период со второй половины XVIII в. до начала XXI в. На предложенном фрагменте карты, составленной на основе принципов когнитивной картографии, тематическая нагрузка гармонично сочетает содержание карты и основу, на которую оно нанесено. Фрагмент легенды карты показывает культурно-историческое наследие г. Павловска. Форма знака передаёт структуру объекта, а цвет показывает время возникновения

Изготовление прилок

Прилоки делали в каждой семье для собственных нужд. Наиболее искусные мастера изготовляли прилоки и на заказ. Широко бытовали цветные «морозные» прилоки, вырубавшиеся из дерева с корнями. В каждой местности создавались свои формы прилоки и применяли их в украшениях. Первоначально изделия деформировались резьбой, повторившей северную традицию выжигать резьбу, а затем появились веши, деформированные теми же сложными композицией из русских народных прилоков.

Фасадная резьба

Развитием крестьянской архитектуры развивалась и резьба по дереву. Резьбу обрабатывали подвешивая несущие выдоусы на кровле. Резьбой (первоначально глухой, а с конца XIX в. — прорезной) украшались крыльца, фронтоны домов, балконы, усадьбы, подпорки.

Распространенные мотивы резьбы наличников были круги и полукруги с ручьями, ромбовидные ромбы, звезды. Резьба на наличниках часто покрывалась яркими масляными красками.

Вырисиные говеланы

Облегченные миниатюры производства ОАО «Узор» разрабатывались на основе старинных гравюр и эскизов, польностью спросом как сувениры. Оригинальные рисунки для них разрабатывают фабричные художники, выпуски и Санкт-Петербургской художественной выставки.

К 70-летию юбилею Ленинградской области была выпущена серия сувениров с видами Гатчины и Санкт-Петербурга, к 200-летию А.С. Пушкина — серия говеланы, посвященные поэзии и творчеству поэта.

Гончарные изделия

На территории современной Ленинградской области зафиксированы многочисленные центры гончарного производства. Широко известность получили остроголовые керамики. Гончарный промысел охватывает три деревень, расположенные в среднем течении р. Оты и на р. Сиса. Здесь изготавливали разнообразную столовую посуду. В Явросском гончарном центре на др. Васильеве и Паше (Красновской р-н) посуда изготавливалась на ручных гончарных кругах, употреблялся старинный способ обработки поверхности — обжарка (создавая углубления и оттар из пыльных песочков). Изделия отличались выжиганым окраской, высокой прочностью, частью и тяжеловесным крупным величию изделий.

В г. Гатчина и пос. Таши помимо гончарных изделий изготавливали игрушки и сувенисты. В тивинском узезде гончары занимались изготовлением молочных и печные горшков. В каждом центре гончарного производства сложились свои шаша, специфические особенности решения форм сосудов и их оформления. Керамическая посуда чаще всего удовлетворяла потребности местного населения, она продавалась в своей округе на рынках и ярмарках, развивалась по деревням. Часть продукции пошла на Санкт-Петербург. Близость столицы способствовала ориентации промыслов на вкусы и потребности горожан.

	вышка		ткачество
	волокная роспись по дереву		жемчужное шитье
	гончарное дело		фасадная резьба
	зажоговое кружево		изготовление прилок
	вырисиные говеланы		крашение тканей

Рис. 2. Внутренняя сторона буклета «Художественные промыслы и ремёсла Невского края»

Крепости Ленинградской области

1- Воротивная Башня
2-3- старая и новая арочные
4- футбольные газончики
5- пристанная рольца
6- веревочное укрепление Соколов
7- "Военные ворота"
8- бастион Штерн
9- бастион Аста
10- бастион Пиннер
11- бастион Серг

12- бастион Фом
13- Шоссейные ворота
14- Скотные ворота (Красельские)
15- здания военного санитариума (башня, психиатрической больницы)

Где: 141 км на север по ж/д от Санкт-Петербурга, в городе Приозерск Как добраться: электричкой от Финляндского вокзала (3 ч 20 мин, или 2 ч 20 экспрессом, 200 рублей на IV.2012), от станции 15 минут пешком с поезда на Хойтумо свернуть направо, идти до моста через Буеую. За местом справа — такс ИС-3 на постаменте, а за ним и крепость.

1- башня св. Осафа
2- ипповый погреб
3- северный корпус
4- башня савояжника
5- райская башня
6- главный корпус
7- олаз
8- кузнечный двор
9- передний двор
10- погреб
11- олаз
12- дом комендантанта

Анненские укрепления:
А-А- бастионный фронт
Б-Б- рвашино
В-В- Фридрихсбургские ворота
Г- киргизтаран
А- плахетин Петра Первого
Е- пороховой погреб
З- Выборгский замок

Как добраться: электричкой от Финляндского вокзала до Выборга (2 ч 30 мин, или 1 ч 40 мин на экспрессе). Замок виден почти от самой станции — 15 минут доброго шага. Укрепление — за замком, еще 10 мин.

1- Воротивная башня
2- Стрельчатая башня
3- Ташевская башня
4- Раскатная башня
5- Клементьевская башня
6- арсенальная горница
Дмитрия Солмоуновского
7- церковь Георгия
8- земское городище
9- архиепископский раскол
10- деревня Старая Алаогга

Где: на севере Вожеговского района Ленобласти Как добраться: электричкой от Алаоггского вокзала до ст. Вожеговской (2 ч 20 мин, билет 170 рублей на IV.2012), перейти промывальную помывальную сестра на автобус №23. Примерно 10 минут ехать.

Башни:
1- Государева
2- Божья
3- Светлячница
4- Королевская
5- Мельничная
6- Колодезная
7- Флажная
8- Головикина
9- Головиная

10- руины солдатских казарм
11- старая тюрьма
12- иродоломическая тюрьма
13- руины Иоанновского собора
14- раскол новгородских укреплений XIV века
15- Нидерландский корпус
16- руины гарнизонной канцелярии
17- икогны русских солдат (1702 г)
18- памятник "Народный воле"
19- ирлица
20- бастионы 1720-1730 годов

Где: остров в восточной части Невы, у Алаоггского озера, в 67 км от СПб Как добраться: электричкой от Финляндского вокзала до ст. Петергофской (1 час 10 мин, 76 р. на IV.2012), от станции — к реке. Паромный, переправляющийся в крепость ходит раз в 15 минут. Вдоль в крепостной палатой.

Рис. 3. Буклет «Крепости Ленинградской области»



Рис. 4. Фрагмент карты г. Павловска

объектов. Разработанный картографический язык помогает читателю легко воспринимать содержание предложенной карты. Схожие принципы были использованы при разработке туристического путеводителя «Архитектурные ансамбли Санкт-Петербурга 1703–1917 годов».

На кафедре картографии и геонформатики Санкт-Петербургского университета разработаны культурно-исторические путеводители г. Санкт-Петербурга: «Светский Петербург XVIII века», «Светский Петербург XIX века», «Светский Петербург XX века» в формате А5, передающие особенности культурного облика города соответствующего исторического периода. Карта служит главным элементом содержания путеводителя, текст в краткой форме поясняет те объекты, которые нанесены на карту. На рис. 6 представлен фрагмент карты путеводи-



Рис. 5. Легенда карты г. Павловска

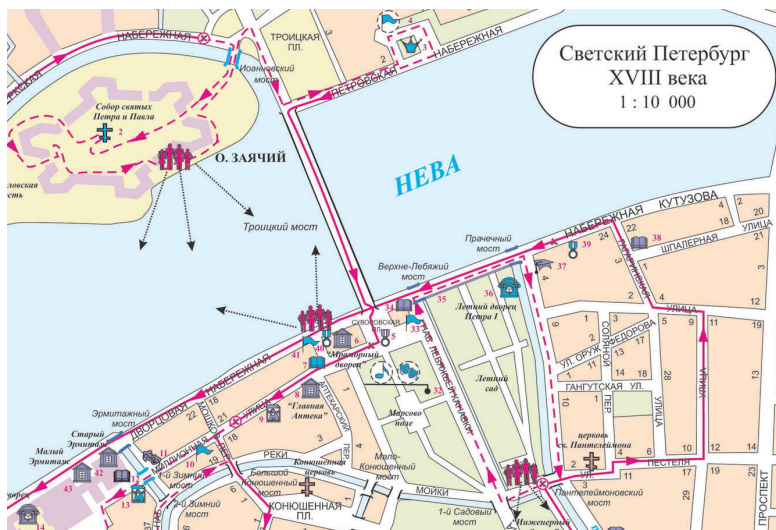


Рис. 6. Фрагмент карты культурно-исторического путеводителя «Светский Петербург XVIII века»

теля «Светский Петербург XVIII века», на ней показаны автобусные и пешеходные экскурсии по Санкт-Петербургу XVIII в.

Карта, текст и иллюстрации путеводителя должны передавать ощущение прогулки по городу, чтобы читатель, покинув город, при повторном обращении к нему в своей памяти смог восстановить увиденное в ярких красках и образах. С путеводителем удобно и приятно путешествовать по улицам и набережным северной столицы, смотреть на следы её прошлого, на облик её настоящего и думать о содержательной и не простой судьбе города.

Заклучение

В последнее время в нашей стране стало уделяться внимание изучению и сохранению нашего богатейшего национального наследия. В связи с этим стоит задача о представлении в наглядной форме удивительного многообразия России, в котором рассказывалось бы о её уникальной истории и культуре. Необходимо разрабатывать грамотную и логически продуманную программу картографических произведений – карт, буклетов, путеводителей, опираясь на накопленный опыт картографирования аналогичных произведений, используя современные технологии и средства, уделяя особое внимание художественному оформлению, которое должно удовлетворять общим требованиям современного дизайна. С учётом всех этих факторов в совокупности и по отдельности при картографировании культурно-исторического наследия результатом станут произведения высокого эстетического качества, способствующие правильному целенаправленному восприятию переданной информации.

Об уровне развития культуры того или иного народа следует судить по тому, как он относится к своему культурно-историческому наследию. Сохраняя прошлое, мы продлеваем будущее.

Литература

Берлянт А.М., Востокова А.В., Кривоцова В.И., Лурье И.К., Сваткова Т.Г., Серпининас Б.Б. Картоведение: Учебник для вузов. М.: Аспект Пресс, 2003. 477 с.
Востокова А.В., Кошель С.М., Ушакова Л.А. Оформление карт. Компьютерный дизайн: Учебник / Под ред. А.В. Востоковой. М.: Аспект Пресс, 2002. 288 с.

- Гуревич П.С. Современный гуманитарный словарь-справочник. М.: Изд-во АСТ, 1999. 528 с.
- Карта Санкт-Петербурга и пригородов. СПб.: ООО «Нева-Принт», 2006.
- Лихачев Д.С. Земля родная. М.: Просвещение, 1983. 256 с.
- Лютый А.А. Язык карты: сущность, система, функции. М.: Ин-т географии АН СССР, 1988. 473 с.
- Ожегов С.И. Словарь русского языка. М.: Русский язык, 1984. 846 с.
- Павлова Н. Санкт-Петербург на перекрестке культур. Французский маршрут. Путеводитель с картой. СПб.: Фрегат, 2003. 132 с.
- Сергиенко Е.А. (ред.) Исследования по когнитивной психологии. М.: Изд-во Ин-та психологии РАН, 2004. 478 с.
- Солсо Р. Когнитивная психология. СПб.: Питер, 2002. 589 с.
- Яковлева С.И. История отечественной туристской картографии // Вест. Тверского гос. ун-та. Сер. «География и геоэкология». 2011. Вып. 1 (9). С. 114–124.

T.I. Zolotova, T.A. Andreeva, M.V. Litvinova

**THE EXPERIENCE IN MAPPING OF CULTURAL
AND HISTORICAL HERITAGE IN THE DEPARTMENT
OF CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS
OF THE SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY**

The paper describes main aspects, methods and techniques of mapping of the cultural-historical and natural heritage, which were developed over the last several years at the Department of Cartography and Geoinformatics of Saint Petersburg State University. These aspects, methods and techniques were implemented in the “Map design” discipline, in course projects and graduate projects of students, and in the research projects that deal with compilation of tourist maps, brochures and guide books.

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И ОБЩЕСТВА ПУТЁМ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина, М.В. Зимин

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ: ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ЛАБОРАТОРИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Введение

Лаборатория аэрокосмических методов (вначале аэрофотометодов) была создана при кафедре геодезии и картографии почти 65 лет назад в связи с переездом МГУ в новое здание на Ленинских горах, который сопровождался мощным технологическим оснащением наук, в том числе географии. На рубеже веков, к 45-летию лаборатории, были обобщены результаты её научной деятельности (Кравцова, 1999), основная задача которой в первый период определялась необходимостью внедрения дистанционных методов в географические исследования. Это наиболее полно проявилось в фототеодолитных работах на Эльбрусе, итогом которых стало создание 19-листной карты оледенения и трёхтомного Атласа ледников Эльбруса.

Вся дальнейшая жизнь лаборатории связана с развитием космических исследований. В многолетнем содружестве с Институтом космических исследований РАН лаборатория участвовала в постановке первых экспериментов по съёмке из космоса. В 1970 г. при её участии были получены фотоснимки с первой орбитальной станции Салют – лучшие в мире на тот момент – и все кафедры факультета оценивали возможность их применения в различных областях географических исследований и тематического картографирования. Всё в это время делалось впервые. Участие в создании многозональной камеры МКФ-6, разработка метода многозональной съёмки, в 1984 г.

удостоенного государственной премии СССР, разработка методов дешифрирования впервые попавших в руки географов многозональных снимков, полученных с КК Союз-22 в международном эксперименте "Радуга", методов, настолько новых и важных, что по линии Совета "Интеркосмос" в Берлине на трёх языках были изданы подготовленные в лаборатории научно-методические атласы, получившие в 1989 г. Ломоносовскую премию МГУ (Дешифрирование ..., 1982, 1988). Вслед за выполненной в лаборатории оценкой первых цифровых многозональных сканерных снимков, полученных аппаратурой "Фрагмент", последовали и первые шаги автоматизированной обработки снимков, для чего на базе отечественной ЭВМ СМ-4 был создан комплекс автоматизированного дешифрирования КАД. Разработаны первые геоинформационные системы на основе космических снимков – ГИС "Сагино", "Кубасанты", "Астраханский заповедник" (Балдина и др., 2004).

Современные направления исследований в лаборатории

В XXI в., как и со времени её создания, основной задачей лаборатории остаётся внедрение дистанционных методов в географические исследования. С развитием самих методов она трансформируется – от аэрофотосъёмки и фототеодолитной съёмки в начальный, "докосмический" период – к космической съёмке с её новыми технологиями многозональной, а затем и гиперспектральной съёмке, с переходом к цифровым методам съёмки и сверхвысокому пространственному разрешению снимков, с оснащением визуального дешифрирования мощными разветвлёнными средствами компьютерной автоматизированной обработки, с развитием стереогеомоделирования и освоением новых спектральных диапазонов съёмки – теплового и радиодиапазона, работа с данными которых потребовала разработки новых методов дешифрирования и стереомоделирования. Необходимо найти оптимальные области географического приложения этих новых направлений дистанционного зондирования, освоить их и помочь географам в их освоении.

Вместе с развитием методов и технологий расширяется и круг исследуемых географических объектов и решаемых задач – от ледников и опасных природных процессов в горах в период преобладающего применения аэрофотосъёмки, фототеодолитной съёмки и стереофотограмметрии – к резкому расширению сферы применения дистанционных

методов, охвату полного круга природных объектов и геосистем в целом, а с ростом пространственного разрешения космических снимков – также и социально-экономических объектов, исследований городов.

При таком широком круге приложений в работах лаборатории всегда особое внимание уделялось исследованиям динамики геосистем. Им была посвящена первая защищённая здесь докторская диссертация (Книжников, 1986), монография по материалам двух докторских работ (Книжников, Кравцова, 1991). Интерес к исследованиям динамики природных процессов особенно обострился в связи с проблемами глобального потепления. Дистанционные исследования динамики природной среды стояли в пятилетних научных планах лаборатории 2001–2005, 2006–2010 гг., а на 2011–2015 гг. тема НИР была сформулирована так: «Аэрокосмические исследования динамики геосистем в связи с глобальными изменениями».

В рамках этой темы исследования концентрировались (и продолжают концентрироваться) по трём направлениям. Первое связано с изучением по космическим снимкам разнообразных географических объектов на основе распознавательного дешифрирования снимков преимущественно в световом диапазоне. Используются методы визуального дешифрирования, в основном компьютерного, усиленные способами автоматической классификации, и сопутствующие им методы спектрометрирования, в том числе гиперспектрометрические, развитие которых диктуется активным применением в последние годы гиперспектральной съёмки из космоса и с воздушных носителей. Активно развиваются методы дешифрирования менее используемых в географии снимков в тепловом инфракрасном и радиодиапазоне.

Второе направление можно определить как стереоизмерительное, более близкое к фотограмметрии. По этому направлению ведутся теоретические разработки – развивается учение о стереоскопической модели местности. Переход на рубеже веков к цифровому стереомоделированию потребовал экспериментальных исследований свойств новых – дискретных – стереомоделей как необходимого этапа разработки теории стереогеомоделирования. Практическая реализация этого направления в географических исследованиях традиционно оказалась связанной с исследованиями динамики горных ледников и опасных динамичных процессов в высокогорных районах, актуальность изучения которых обострилась в связи с климатическими колебаниями.

И, наконец, третье направление работ лаборатории связано с тем, что, не ограничиваясь разработкой новых методов, мы всегда стре-

мились к их популяризации, широкому внедрению в географические исследования, старались сделать их доступными для географов, создавая научно-методические пособия обучающего типа. Этого вида деятельности потребовала жизнь – статус лаборатории как Межуниверситетского аэрокосмического центра.

Перечень исследуемых природных объектов определяется возможной зависимостью их изменений от колебаний климата и уровня моря, а набор социально-экономических объектов – особенностями антропогенного воздействия на условия жизни и производства.

Береговые зоны. Значительное внимание в работах лаборатории было уделено динамике береговой зоны и дельт рек Каспийского региона в связи с колебаниями уровня Каспия. При резком подъёме уровня Каспийского моря на 2,4 м в 1977–1995 гг. и его дальнейшей стабилизации, и опускания в первом десятилетии 2000-х годов выполнялся мониторинг состояния береговой зоны низменного калмыцкого побережья Каспия, подверженного ветровой осушке. По космическим фотоснимкам с российских спутников Ресурс-Ф 1970–90-х годов выявлено, что подъём уровня моря сказался не в затоплении берега, а в образовании серии вдольбереговых валов и формировании за ними лагуны, заросшей тростником, а в тыловой части обводнённой, что соответствует формированию барово-лагунного комплекса, прослеженному вдоль всего равнинного западного побережья Каспия (Kravtsova, Lukyanova, 2000). После прекращения подъёма уровня, его некоторой стабилизации и снижения мониторинг был продолжен до 1997 г. по сканерным снимкам со спутника Ресурс-О и до 2004 г. по радиолокационным снимкам ERS-1, которые показали обмеление лагуны, зарастание её тростником и наступание на неё полупустынной суши. Продвижение границы тростник-суша в сторону моря особенно ярко выражено при цветовом синтезе разновременных радиолокационных снимков 1995, 1999 и 2004 гг. Этот методический приём – использование «временного образа» объектов – стал одним из эффективных способов исследования динамики берегов и вошёл в фундаментальное международное руководство по дистанционным исследованиям береговых экосистем (Kravtsova, 2009). Определены возможности использования «временного образа» и цветового синтеза разновременных снимков при исследованиях динамики различных природных и хозяйственных объектов (Балдина, Кравцова, 2006).

Другая крупная экологическая катастрофа нашего времени – деградация Аральского моря. Мониторинг сокращения его площади

был начат по фотоснимкам с орбитальной станции Салют 1975 г., продолжен по сканерным снимкам со спутников Ресурс-О 1980–90-х годов (Кравцова и др., 2001) и снимкам MODIS/Terra в 2000-х годах (Кравцова и др., 2002), до 2008 г., когда море перестало существовать как единый водоём и полностью преобразовались типы берегов. Прослежены сгонно-нагонные явления в остаточных водоёмах, изменения природно-территориальных комплексов на территории бывшего дна моря в зависимости от давности их существования в качестве суши, заселение бывшего дна растительностью, образование и разрушение солевых корок – источников солевых бурь. Результаты многолетнего мониторинга усыхающего водоёма включены в подготовленную Институтом океанологии РАН монографию «Большое Аральское море в начале XXI века» и книгу об Арале, выпущенную издательством Шпрингер (Ginzburg et al., 2010).

С использованием материалов космической съёмки высокого пространственного разрешения по ключевым участкам арктического побережья (о. Колгуев, п-ов Югорский и др.), получены новые данные о современных скоростях роста термоцирков и отступления берегов. Вызванная потеплением активизация процессов термоабразии, термоэрозии и термоденудации приводит к разрушению и отступанию морских берегов, сложенных подземными льдами (Кизяков и др., 2013).

Воздействие антропогенного фактора на состояние береговой зоны проявляется на берегах активного рекреационного использования. К таким относится Анапская пересыпь – аккумулятивная форма берегового рельефа на северо-восточном побережье Чёрного моря. Её песчаные пляжи и дюны в сочетании с климатическими условиями представляют ценнейший рекреационно-бальнеологический ресурс, который, однако, может быть утерян из-за неумеренного нерегулируемого использования; поэтому пересыпь нуждается в мониторинге для разработки мер её охраны и защиты. В связи с этим в совместных работах с Южным отделением Института океанологии РАН по космическим снимкам выполняется детальное картографирование ландшафтно-морфологической структуры пересыпи (Кравцова, Чалова, 2015). Методическую особенность этих работ составляет обязательное использование снимков сверхвысокого разрешения и их стереоскопическое дешифрирование, для чего применимы «случайные» стереопары снимков, полученных в разное время и с разных орбит (Книжников, Кравцова, 2014). Для детального изучения динамики рельефа исполь-

зуются материалы повторного воздушного лазерного сканирования, автоматизированная обработка которых позволяет количественно оценить как природную динамику – волновой размыв дюнных валов, эоловую аккумуляцию песка за их гребнями, – так и особенно сильные и опасные антропогенные изменения – уничтожение дюнных валов при массовой нерегулируемой рекреации, засыпание лагунных озёр для расширения площадей под застройку (Кравцова и др., 2017).

Неотъемлемая часть береговой зоны – устья рек – также стали объектом исследования по космическим снимкам. На основе курсовых и дипломных работ студентов за 2006–2010 гг. составлен рукописный атлас космических снимков «Устья рек мира» в нескольких томах, охвативший все материки и характеризующий около 100 устьев важнейших рек мира, представленных на более чем 450 космических снимках. В связи с предоставленной Институтом водных проблем РАН возможностью частичной публикации этого материала была выделена его часть, относящаяся к России, и издана в виде атласа «Устья рек России» (Кравцова, Митькиных, 2013). В нём, кроме показа устьевых областей 28 рек России на космических снимках и анализа по ним природных и хозяйственных особенностей этих областей, представлено также отображение их динамики на разновременных космических снимках.

Дельты рек. Дельты относятся к одним из наиболее динамичных районов мира. В работах лаборатории существенное место занимают многолетние исследование дельт рек Каспийского бассейна. В дельте Волги динамика её морского края при колебаниях уровня Каспия исследовалась на основе сопоставления архивных карт и современных космических снимков. В качестве достоверных источников о положении морского края признаны лишь топографические карты 1869 и 1927 гг., зафиксировавшие его в конце длительного периода стабилизации уровня моря. Изменения при современном подъёме уровня моря получены по снимкам Ресурс-Ф, Ресурс-О, Landsat, SPOT. На составленных картах зафиксировано быстрое выдвигание дельты при падении уровня моря за счёт формирования и присоединения к берегу островов в устьях крупных водотоков и у рыбоходных каналов и освоения тростником мелководных участков вдоль морского края. При подъёме уровня только спустя несколько лет проявляются процессы частичного разрушения тростниковых зарослей на взморье, в то же время на верхней границе тростникового пояса происходит подтопление в связи с подъёмом уровня грунтовых вод. Эти материалы

включены в Атлас дельты Волги и фундаментальную монографию по устьям рек Каспийского региона (Лабутина, 2013).

Динамика растительности дельты Волги исследовалась на локальном Дамчикском участке Астраханского заповедника на основе перевода в цифровую форму архивных карт растительности и их сопоставления с современными снимками при сочетании визуального дешифрирования и компьютерной обработки снимков. Предложены приёмы последовательного сопоставления векторных карт предыдущего периода со снимками последующего. Составленные карты динамики растительности показали смену ксерофитизации растительности, характерной для периода падения уровня моря, её гидрофитизацией при подъёме уровня (Baldina et al., 1999). Сравнение разновременных снимков Landsat с использованием «временного образа» выявило сокращение площадей обрабатываемых сельскохозяйственных земель в дельте. Особое внимание уделено картографированию распространения лотоса как показателя экологического состояния водно-болотных угодий дельты, включённых в Рамсарскую конвенцию (Лабутина, Балдина, 2009). С использованием данных полевых наблюдений выполнено картографирование распределения концентрации взвесей в стоковых течениях из рукавов дельты.

Динамика дельт менее крупных рек Каспийского бассейна также исследовалась в период подъёма уровня моря в 1977–1995 гг., последующей стабилизации и снижения уровня по снимкам со спутников Ресурс-Ф, Ресурс-О, Landsat, SPOT, IRS, по которым составлены серии карт дельт на разные этапы колебаний уровня. Выявлено, что на отломом взморье дельты Урала при подъёме уровня моря на месте отступившей суши сформировался пояс зарослей тростника, отделивший лагуны. Он сохранялся, пока подъём уровня не превысил 1,9 м, что вызвало разрушение зарослей, а прекращение подъёма и стабилизация уровня способствовали их восстановлению. Как и на калмыцком побережье, так и в дельте Волги, основные изменения, против ожиданий, происходили не на морском крае дельты, а в тылу тростникового пояса, на границе суши, и были связаны с подъёмом уровня грунтовых вод (Кравцова, Шуматиев, 2005). В дельте Терека в этот период у выхода в море прорези через Аграханский полуостров удалось наблюдать формирование Новой дельты, которая продолжала расти несмотря на подъём уровня моря (Кравцова, Проворова, 2014а). В дельте Сулака выявлен размыв выступов Старой и Новой дельт, формирова-

ние из продуктов размыва и перемещение к берегу Сулакской косы – при подъёме уровня моря и относительную стабилизация после его прекращения. В дельте Куры прослежено затопление при максимуме подъёма, а потом восстановление дельтового выступа, кардинальные изменения гидрографической сети, связанные с прорывом вод на юго-запад, прорытием искусственного канала для направления стока на восток, размывом юго-восточного дельтового выступа и ростом Ново-Куринской косы (Кравцова, Проворова, 2014б). Все эти значительные гидрологические события отражены в фундаментальной монографии по устьям рек Каспийского региона и атласах космических снимков.

Исследования дельты Селенги связаны с изучением динамики озёрного края дельты, выносом в Байкал твёрдого стока реки и оценкой фильтрационной способности дельты. По разновременным космическим снимкам за период 1975–2000 гг. изучено изменение дельты при повышении уровня озера после завершения строительства Иркутской ГЭС, затопление периферийной зоны дельты к 1975 г. и постепенное её заполнение наносами и зарастание в последующем, с выдвиганием в Байкал, наиболее активном на северо-западном участке (Иванов и др., 2007). Разработана методика определения концентрации взвеси по многозональным снимкам с использованием полевых данных. Выявлена связь яркости изображения на снимке и концентрации взвеси на приустьевом взморье дельты, установлена зависимость характера мутьевого облака от расхода воды в устьях проток, направления ветрового волнения. Проведена гиперспектральная съёмка дельты с беспилотных летательных аппаратов, наземное спектрометрирование, обследование и картографирование растительности (в том числе околководной, надводной, подводной) для выявления фильтрационных свойств дельты в отношении различных химических загрязнений, составляются карты мутности воды, карта аквальных ландшафтов дельты по снимкам со спутников SPOT 6, Landsat 8, Sentinel 2, создаются онлайн-библиотеки спектральных характеристик растительности для поддержки дешифрирования гиперспектральных снимков (Тутубалина и др., 2015; Чалов и др., 2017).

По снимкам информационной системы GoogleEarth выполняется картографирование природно-антропогенных геосистем крупных дельт мира. В дельте Замбези выявлено влияние водохранилищ, созданных в бассейне реки, на трансформацию ландшафтов дельты, их аридизация в связи с прекращением заливаний, деградация мангро-

вых лесов. В дельте Хуанхэ прослежены изменения хозяйственной деятельности на участках нарастания дельтовой лопасти – добавление, к традиционному сельскохозяйственному использованию территории, прибрежного пояса аквакультурных хозяйств, создание искусственных водно-болотных угодий, развитие нефтедобычи, вступающей в конфликты с другими видами хозяйственного использования дельты.

Озёра. Исследованиями охвачены лишь некоторые типы озёр, интересующие географов в связи с климатическими колебаниями или опасными процессами. Термокарстовые озёра привлекли внимание исследователей в разных странах как потенциальный показатель состояния криолитозоны в связи с возможной активизацией термокарста. По снимкам GoogleEarth составлена карта распространения термокарстовых озёр на территории России (Кравцова, 2009). Динамика термокарстовых озёр исследовалась по снимкам Landsat, полученным с 1970-х годов. Разработана специальная методика учёта различий в разрешении снимков MSS и TM при их сравнении. Исследования на 40 тестовых участках в шести районах криолитозоны России показали, что уменьшение площади озёр составило 2,9%, а увеличение – 1,2%. Сокращение площадей озёр в большинстве случаев связано с эрозийными процессами (спуск озёр водотоками), а увеличение – с гидрологическими процессами (наполнение водотоками), циклическим изменением атмосферных осадков, антропогенным воздействием, и лишь в малой степени с некоторой активизацией термокарста в районах высокольдистых пород. Сделано заключение, что динамика площади и количества термокарстовых озёр определяется сложным комплексом факторов и не может быть использована как индикатор влияния потепления климата на криолитозону (Кравцова, Родионова, 2016).

Другой тип исследуемых озёр – так называемые прорывные озёра, образующиеся у концов горных ледников среди отложенных морен. Эти подпрудные озёра опасны в связи с возможными прорывами, вызывающими образование селей, поэтому необходима их инвентаризация и мониторинг. Разработаны методы их дешифрирования с выполнением предварительной радиометрической коррекции снимков, составлен каталог таких озёр для Центрального Кавказа. Тестирование по одному из изученных районов Центральной Азии показало хорошую достоверность дешифрирования. По международному проекту DEFENCC совместно с университетом Берна (Швейцария) и академическими институтами Узбекистана и Киргизии проводятся

исследования опасности прорывных паводков и селевых потоков на Тянь-Шане. Выполнено картографирование возможной зоны затопления города Нарын при прорыве озера у конца ледника Петрова.

Северная граница леса. Динамика северной границы леса и структуры экотона тайга–тундра в связи с климатическими изменениями исследовалась в рамках международного проекта PPS Arctic-BENEFITS. В российской части проекта предусматривались исследования на равнинных и горных ключевых участках в европейской и азиатской частях России – на Кольском полуострове и Таймыре. Постепенность перехода от тайги к тундре, плохая выраженность границы леса на местности потребовали привлечения для их исследования снимков самого высокого (субметрового) разрешения (VHR), которые начали получать со спутников лишь в 2000-х годах. На основе этих снимков разработана методика автоматического дешифрирования северных лесов «тень/растительность» (Новичихин, Тутубалина, 2009), представляющая собой объектно-ориентированный алгоритм обработки VHR-снимков совместно с цифровой моделью рельефа для определения пространственного положения деревьев и расчёта их высоты по длине тени. Методика обеспечивает создание производных карт пространственной структуры древостоев – их сомкнутости и полноты, определения границ лесной и лесотундровой растительности на основе учёта параметров древостоев.

Для визуального дешифрирования редкостойных северных лесов оказалось важным участие в структуре их изображения теневой компоненты, создающей в разных типах лесов различный рисунок изображения (Кравцова, 2012). При сопоставлении VHR-снимков с архивными аэрофотоснимками в Хибинах удалось зафиксировать продвижение границы леса вверх по склонам на 30 м за период 1958–2006 гг. (Михеева, 2011), а в равнинной части Кольского полуострова зафиксировать сгущение древостоев в лесной зоне и кустарничковой растительности в лесотундровой зоне (Кравцова, Лошкарева, 2009).

Однако такие исследования возможны лишь для локальных участков, а переход к картографированию динамики северной растительности на значительных территориях, с использованием доступных на период потепления снимков Landsat, потребовал разработки целого спектра методических приёмов. Декомпозиционные подходы для разделения смеси объектов в крупном пикселе снимка Landsat основывались на сопоставлении их со снимками QuickBird (Кравцова, Лошкарева,

2010), с полевыми измерениями на эталонных площадках (Тюкавина, 2012), натуральных экспериментах по спектрометрированию компонентов экотона тайга–тундра и их смесей (Mikheeva et al., 2012). Экспериментальное создание карт структуры экотона на долину Тулийок в Хибинах (Михеева и др., 2017) показало перспективность этого подхода для мониторинга границы северных лесов в будущем. Ретроспективный же мониторинг за период потепления во второй половине XX в. оказался успешным при сравнении разновременных изображений вегетационного индекса на основе снимков Landsat. Разностные индексные изображения NDVI показали сгущение кустарничковой растительности в тундрах Кольского полуострова и увеличение сомкнутости лиственных редколесий на Таймыре (Kravtsova et al., 2012).

Процессы урбанизации, изучение городов. Хотя основные исследования лаборатории всегда были связаны с природной средой, они охватывали также социально-экономическую проблематику – сельскохозяйственные объекты, расселение. С появлением снимков сверхвысокого разрешения и освоением теплового диапазона активизировались исследования городов. Процессы урбанизации в Подмосковье начали изучать ещё по снимкам Landsat, когда в начале 1990-х годов, в связи со снятием ограничений на индивидуальное жильё, получило бурное развитие загородное строительство. На территорию ближнего Подмосковья охватом 120×150 км по снимкам Landsat 5 и 7 составлены карты площадей застройки и определена динамика застроенных территорий за период 1991–2001 гг. Выявлено их расширение с 12 до 19%, концентрация площадей новой застройки вдоль автомобильных дорог, рек и водоёмов, увеличение плотности застройки в межмагистральных клиньях (Кравцова, Родионова, 2007).

После создания ИТЦ СканЭкс в сервисе «Космоснимки» монтажа из снимков более высокого разрешения с индийского спутника IRS, мониторинг роста застройки был продолжен на первое десятилетие XXI в. Составленная карта показала замедление темпа прироста пригородной застройки по сравнению с последним десятилетием XX в., концентрацию его в зоне удаления от Москвы на 30 км, заполнение межрадиальных пространств западных секторов при сохранении радиальной структуры застройки по остальным направлениям (Кравцова, Ерлич, 2012).

По снимкам сверхвысокого разрешения стало возможно картографировать не только общее распространение, но и разделять типы застройки, выполнять анализ распределения типов застройки в раз-

личных секторах Подмосквья и в разных поясах дальности, а при сравнении с архивными топографическими картами проследить этапы формирования застройки разных типов (Кравцова, Конфектов, 2012). В связи с необходимостью оценки потенциала городского строительства на присоединяемых к Москве территориях составлены карты типов современной застройки Новой Москвы, плотности отдельных типов застройки по поселениям, а также соотношения застройки с экологическим каркасом территории (Кравцова, Ерлич, 2013).

Для оценки экологической ситуации в пределах города важно картографирование функциональных зон городской территории. Методика составления карты функциональных зон по снимкам QuickBird, разработанная на примере Восточного административного округа Москвы, предусматривает сочетание компьютерной классификации зеленых насаждений и водных объектов и визуального дешифрирования структуры городской застройки и функциональных зон (Хайбрахманов, 2014). Такое картографирование положено в основу ландшафтно-геохимических исследований города. Важное новое направление дистанционных исследований городских территорий как «островов тепла», и в частности теплового острова Москвы (Балдина, Грищенко, 2011) связано с применением снимков в тепловом инфракрасном диапазоне, которое рассматривается в отдельной статье настоящего выпуска.

Сельское хозяйство. Точечное земледелие. С применением в дистанционном зондировании с начала 2000-х годов гиперспектральной съёмки, выполняемой системами Hyperion/EO-1, MODIS/Terra, Aqua, а также с появлением гиперспектральных данных с российского спутника Ресурс-П, особую актуальность приобрели исследования спектральной отражательной способности различных объектов земной поверхности с помощью наземной спектрометрической аппаратуры, в том числе приобретённой лабораторией по Программе развития МГУ гиперспектрометра ASD FieldSpec 3 Hi-Res. Эти исследования и созданные по их материалам спектральные библиотеки должны стать обоснованием для дешифрирования земных объектов по материалам космической гиперспектральной съёмки. Наземным спектрометрированием с использованием спектрометров разного типа охвачена естественная северная растительность – тундровая и таежная – на Кольском полуострове, где учитывалось также влияние на неё промышленного воздействия. Но наибольшее развитие эти работы получили в связи с новой технологией «точечного земледелия», когда

потребовалось изучение вариаций спектральной отражательной способности сельскохозяйственных культур в пределах отдельного поля, на разных фазах их развития и при внесении разных типов удобрений, для оценки эффективности и планирования агротехнических мероприятий. Эти исследования проводились и в рамках лабораторного эксперимента, и на делянках опытных полей, и вышли на уровень крупных агрохозяйств. Ввиду значительного размаха и особой важности они характеризуются в отдельной статье настоящего выпуска.

Дешифрирование материалов съёмки в тепловом инфракрасном и радио диапазонах. Эти методы съёмки активно развиваются в современном дистанционном зондировании, поэтому в работах лаборатории значительное внимание уделяется разработке методов дешифрирования снимков такого типа и их применению в географических исследованиях. Методы дешифрирования тепловых снимков разрабатывались главным образом на примере изучения городов. Предложена методика их обработки, предусматривающая соединение разносезонных снимков и дешифрирование такого многовременного снимка на основе «временного образа», отражающего различия теплового излучения объектов в течение года. Создаются карты двух типов – тепловой структуры территории и тепловых аномалий (Балдина, Грищенко, 2014).

По тепловым снимкам исследуются также вулканические районы, ландшафты труднодоступных территорий. Для работы с радиолокационными снимками, трудными для зрительного восприятия, предложены методы их преобразования с созданием производных изображений для визуального и автоматизированного дешифрирования, опробованные на примере картографирования арктических геосистем о. Котельный и оценки состояния сельскохозяйственных угодий в дельте Волги (Балдина, Трошко, 2016). На основе метода интерферометрической обработки радиолокационных снимков разработана методика картографирования динамики рельефа лавовых потоков на примере Толбачинского трещинного извержения 2012–2013 гг. (Михайлюкова, Тутубалина, 2016). Ввиду особой актуальности развития этих методов и их сложности, они представлены в отдельных статьях настоящего выпуска.

Стереогео моделирование. Это направление исследований лаборатории включает теоретическую разработку учения о стереоскопической модели местности, базирующуюся на экспериментальных исследованиях, практическую реализацию стереогео моделирования при изучении оледенения Эльбруса и мониторинг опасных природных процессов в горах.

Учение о стереоскопической модели местности разрабатывалось Ю.Ф. Книжниковым, в рамках последовательно сменявшихся с 1998 по 2015 г. шести грантов РФФИ. Переход на рубеже веков от фотографических методов стереосъёмки к цифровым обусловил необходимость экспериментального исследования свойств цифровой стереомодели. В ходе экспериментов пять наблюдателей выполнили свыше 20 тысяч стереоизмерений с целью исследования метрических свойств цифровой стереомодели в зависимости от разных факторов, показав её метрическую устойчивость, соблюдение законов Вебера–Фехнера (Цифровая..., 2004). Путём графического моделирования изучено формирование дискретной стереоскопической модели на микроуровне (Кравцова, 2014). В обобщающей теоретической монографии «Аэрокосмическое стереомоделирование» (Книжников, 2015) аэрокосмический снимок и стереоскопическая пара снимков рассматриваются как модель местности, а само аэрокосмическое зондирование – как научное моделирование, с подходом к нему не как к инженерной технологии, а как к средству познания, моделирования в географии и других науках о Земле. Существовавшая прежде фотограмметрическая концепция стереомоделирования дополняется психологической концепцией. Стереоскопическая модель трактуется как результат эффективного синергизма зрения человека и достижений научно-технического прогресса.

Исследования оледенения Эльбруса. Практическое применение теоретических разработок по стереомоделированию реализовано при изучении эволюции оледенения Эльбруса, продолжившем исследования начального периода работ лаборатории полувековой давности. На основе современных цифровых методов использования старинных карт, материалов наземных, воздушных и космических съёмок созданы цифровые модели, отражающие состояние оледенения Эльбруса в 1887, 1957, 1979 и 1997 гг. По ним определены изменения площади и объёма оледенения начиная с середины XIX в. Наибольшие темпы сокращения оледенения приходились на период с середины до конца XIX в., после чего уменьшение его площади происходило практически равномерно, а объёма даже замедлилось. Эти данные привели к выводу, что глобальное потепление климата имеет скорее естественные причины, чем антропогенные (Золотарев, 2009). Такая концепция была защищена Е.А. Золотаревым в его докторской диссертации.

В исследованиях ледников совершенствовались методы автоматических стереоизмерений, программные средства – разработан

цифровой фотограмметрический программный комплекс, предназначенный для автоматизированного измерения координат точек по цифровым снимкам и проведения фотограмметрических расчётов (Золотарев, Харьковец, 2007). Предложена особая технология, предусматривающая наблюдение двойной стереоскопической модели, получаемой в результате повторных съёмки, при одновременном дешифрировании изменений и измерениях их параметров (метод «стереоскопического измерительного дешифрирования» (Золотарев, Харьковец, 2012). Новые разработанные методики нашли эффективное применение при исследовании опасных природных процессов в горах – лавин и селей, в частности при подготовке олимпийских объектов в районе Сочи.

Мониторинг опасных природных процессов. Одновременно с теоретическими и методическими разработками по проектам РФФИ и международным программам проводился мониторинг опасных природных процессов в горах – Кармадонской ледниковой катастрофы, схода селей в долинах Центрального Кавказа, состояния прорывных озёр на Тянь-Шане, лахаров на вулканах Камчатки, а также опасных явлений в криолитозоне – образования воронок газового выброса на Ямале, для исследования которых применены методы стереогеомоделирования (Тутубалина и др., 2005; Петраков и др., 2013; Petrakov et al., 2012; Petrov et al., 2017; Сейнова и др., 2010а, б; Кизяков и др., 2015).

Спектральные библиотеки, или библиотеки спектральных характеристик объектов на поверхности Земли, представляют собой ценный источник информации для обработки данных дистанционного зондирования. В рамках развития данного направления сотрудниками лаборатории проведены методические и практические работы направленные как на организацию и проведение комплекса полевых работ в целях получения спектральных характеристик изучаемых объектов и явлений, так и на создание проблемно-ориентированных спектральных библиотек. В частности проведены работы по разработке методов наземного спектрометрирования растений Арктики и методов изучения их спектральных образов и биохимических особенностей (Голубева и др., 2014; Касимов и др., 2015). Созданы спектральные библиотеки растительного покрова Кольского полуострова (Зимин и др., 2014), водной и наземной растительности ключевых участков дельты р. Селенги (Тутубалина и др., 2015), ведутся работы по обеспечению задач связанных с точным земледелием (Тутубалина и др., 2016).

Внедрение аэрокосмических методов в географию. Научно-методические атласы. Лаборатория всегда считала одной из главных задач внедрение дистанционных методов в географические исследования. Поэтому большое значение придавалось созданию научно-методических пособий, помогающих географам освоить новые материалы съёмки и специальные методы их обработки, а также новые области их применения. Пособия создавались в наглядной форме научно-методических атласов, включающих космические снимки определённого типа, раскрывающих методы работы с ними и демонстрирующих получаемые результаты. Создание научно-методических атласов стало традицией в деятельности лаборатории.

Большую роль сыграли атласы по дешифрированию многозональных снимков, с которыми в 1970-х годах специалисты-географы встретились впервые. Международная значимость проблемы определила выполнение задачи совместно с ИКИ РАН и со специалистами ряда стран (ГДР, Болгария) по линии Совета «Интеркосмос». В Берлине на трёх языках были изданы подготовленный в лаборатории атлас по дешифрированию многозональных снимков, полученных камерой МКФ-6 с космического корабля Союз-22 (Дешифрирование..., 1982) и атлас на основе первой цифровой сканерной съёмки системой Фрагмент, включавший также начальные опыты автоматизированного дешифрирования снимков (Дешифрирование..., 1988). В 1990-х годах, когда обострились экологические проблемы и космические методы были направлены на их решение, к ним добавился атлас «Космические методы геоэкологии» (1998). Наряду с широким географическим охватом тем, разрабатывались и атласы по отдельным направлениям географических исследований, например, 4-томный Атлас устьев рек мира, к сожалению, оставшийся рукописным – издана только его часть, относящаяся к России (Кравцова, Митькиных, 2013).

Активное развитие средств съёмки теплового инфракрасного и радиодиапазона, требующие нетрадиционных способов их использования, поставило задачу развития новых методов их обработки и обучения географов этим методам. Следуя традиции, эта задача также решается в форме научно-методических атласов (Трошко, 2015), характеризующихся в соответствующих статьях настоящего выпуска.

Наряду с фундаментальными пособиями по определённым методам съёмки и типам снимков, создаются и пособия другого вида, когда на примере знакомого объекта демонстрируются возможности

его всестороннего дистанционного изучения. Таков выпущенный к юбилею МГУ в 2004 г. атлас Московского университета, составленный Е.Р. Чаловой при участии О.В. Вахниной, показывающий МГУ и на старых картах, и на первых аэрофотоснимках, и на космических снимках разного типа – многозональных, тепловых, знакомящий с методами компьютерной обработки снимков и возможностями стереоскопического дешифрирования. Атлас имеет разнообразные применения в географо-экологическом образовании (Чалова, Вахнина, 2016). Эту линию – раскрытия возможностей дистанционных методов на примере хорошо знакомых объектов – продолжает и Атлас территорий Московского университета (научных станций, баз практик), создаваемый в наступившее время безбумажной картографии в виде электронного издания (Вахнина, Чалова, 2007). И как «дочернее предприятие» этого атласа О.В. Вахниной и С.Г. Нечелюстовым создан стереоскопический видеофильм о практике на учебном полигоне географического факультета МГУ в Сатино.

География обогатится дистанционными методами тогда, когда подготовленные для неё специалисты будут владеть этими методами. В понимании этой истины, уже в самый начальный период космических исследований Министерство образования, по инициативе профессора Ленинградского университета Л.Е. Смирнова, ввело в качестве обязательного для географов курс «Аэрокосмические методы», а для обеспечения его преподавания в университетах, готовящих природоведов, был создан Межуниверситетский аэрокосмический центр на базе лаборатории аэрокосмических методов МГУ, взаимодействовавший с 28 университетами страны. Работа Центра была организована в форме регулярно проводимых через 1–2 года школ-семинаров по актуальным направлениям развития дистанционного зондирования. Было проведено восемь таких школ, в том числе по дешифрированию многозональных снимков, автоматизированным методам их обработки, а созданные научно-методические атласы были широко распространены в вузы страны. В 1990-е годы в связи с экономическими трудностями организации школ-семинаров очного типа – с одной стороны, и развитием компьютерных телекоммуникационных технологий – с другой, Центр перешёл на Интернет-семинары. Было проведено семь Интернет-семинаров, их материалы подготовлены Е.А. Балдиной, О.В. Тутубалиной, Е.Р. Чаловой на электронных дисках, которые стали новым типом пособий.

Для обеспечения основательной подготовки по аэрокосмическим методам в университетах страны были разработаны по заказу издательского центра «Академия» фундаментальные учебники, ставшие опорой аэрокосмической подготовки в вузах и выдержавшие два издания (Книжников и др., 2004; 2011). Созданы учебные пособия по дешифрированию снимков, используемые в различных вузах страны (Лабутина, 2004; Кравцова, 2005; Лабутина, Балдина, 2011), пионерные пособия по стереогеомоделированию (Книжников и др., 2011). Они сыграли первостепенную роль в вузовской аэрокосмической подготовке. Но параллельно с этим лаборатория имела в виду необходимость начинать такую подготовку со школьного возраста, для чего был создан атлас «Земля – планета людей», распространённый в школах периферийных районов страны (Земля..., 1995). Исходя из положения, что в наш век человек должен учиться понимать космические снимки уже с детского возраста, подготовлена книга «для детей и их родителей» (Кравцова, 2011), играющая свою роль в популяризации дистанционных методов среди широких кругов населения.

Значительный технологический скачок в использовании информационных технологий, произошедший в последнее десятилетие, предъявляет абсолютно новые требования к сбору, обработке и предоставлению доступа к пространственным данным, где важными показателями служат актуальность, достоверность и оперативность доступа. Одно из наиболее активно развивающихся направлений геоинформатики на сегодняшний момент – геопортальные технологии, позволяющие не только визуализировать и проводить анализ пространственных данных, но и обмениваться ими в рамках открытых коммуникационных сетей.

В рамках шестого приоритетного направления развития МГУ имени М.В. Ломоносова «Рациональное природопользование и устойчивое развитие регионов России» (ПНР-6) географический факультет МГУ выступил с инициативой внедрения современных космических технологий в научно-образовательный процесс и начал реализовывать проект «Геопортал МГУ», где лаборатория является организующим началом проекта.

Геопортал МГУ представляет собой геоинформационный комплекс и включает в себя аппаратно-программный комплекс «УниСкан-24», предназначенный для приёма и обработки данных с искусственных спутников Земли, терминалы обработки данных станции приема,

сервер геопортала МГУ (организация online-сервисов, файловое хранилище, организация пользовательских учетных записей, ПО) и пространственные базы данных, представленные картографическими материалами и материалами космической съёмки (архивные и оперативная съёмка). Реализуемый проект позволяет решать сразу несколько задач: образовательную, научно-исследовательскую и производственно-коммерческую, выполнение которых – один из важных аспектов, несущих в себе стимул к развитию прикладных направлений деятельности высшей научной школы. В 2017 г. проект преобразован в центр коллективного пользования МГУ, где, как и ранее, организован процесс доступа к информационным и техническим материалам и средствам.

Лаборатория также являлась одним из инициаторов организации Консорциума университетских геопорталов УНИГЕО, цель которых заключается в разработке и обеспечении выполнения комплекса мероприятий, направленных на эффективное использование имеющегося потенциала высшей школы для внедрения спутниковых дистанционных технологий космического дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий в российское образование (Тутубалина и др., 2012; Зимин, Ботавин, 2011; Зимин, Тутубалина, 2012).

С созданием Университетской гимназии МГУ выпускники и молодые сотрудники лаборатории ежегодно ведут аэрокосмические проекты в лагере для одарённых детей «Сириус» в рамках отборочной смены для поступающих в гимназию.

Взгляд в будущее. В эру стремительного развития технологий аэрокосмического зондирования лаборатория уверенно смотрит вперёд. Радикальное улучшение обеспечения открытыми снимками высокого разрешения в оптическом диапазоне с появлением спутников Landsat 8, и Sentinel 1, 2 позволяет планировать развитие технологий автоматизированного дешифрирования больших массивов разновременных данных (big data). Для этого перспективно использование суперкомпьютеров МГУ в содружестве с факультетом вычислительной математики и кибернетики, новым космическим факультетом МГУ, сочетание опыта географического дешифрирования космических снимков, накопленного в лаборатории, и опыта автоматизации дешифрирования больших массивов космических снимков, накопленного в Институте космических исследований РАН. Такой новый виток сотрудничества с ИКИ РАН, которое всегда было крепким, предположительно будет сфокусирован на картографировании растительного покрова России, в том числе северной границы леса. Возможно

использование и международных исследовательских суперкомпьютерных систем для обработки снимков, таких, как Google Engine.

Всё более широкое применение гиперспектральных съёмок, как из космоса, так и с беспилотных летательных аппаратов, сохраняет актуальность создания и развития библиотек спектральных характеристик различных объектов. Как для гиперспектральных снимков, так и для снимков сверхвысокого разрешения предстоит развивать технологии объектно-ориентированного дешифрирования, в том числе нейросетевые, чтобы дополнить и заменить технологии визуального дешифрирования при анализе сверхбольших массивов данных.

Будут активно развиваться методы обработки радиолокационных снимков, включая интерферометрию и поляриметрию, на основе открытых материалов со спутников серии Sentinel 1, а в перспективе и с российских КА. Так же активно продолжится использование тепловых снимков и их серий для оценки тепловых характеристик как городских так и малонаселённых территорий России.

Планируется активное развитие аэрокосмических учебных курсов в рамках очного университетского образования, а также в форматах очного и дистанционного дополнительного образования. Будет сохраняться и развиваться международное сотрудничество с ведущими университетами мира.

Накопленный лабораторией опыт дешифрирования космических снимков уже используется и будет использоваться в рамках создания систем и сервисов автоматизированного и экспертного дешифрирования для национальной Государственной системы обеспечения потребителей данными ДЗЗ (ГИС ОП ДЗЗ), Морского портала, создаваемого в рамках Национальной технологической инициативы.

Литература

- Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Исследование теплового острова Москвы по разнотемпературным снимкам Landsat-7/ETM+ // Геоинформатика. 2011. № 3. С. 61–69.
- Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Методика дешифрирования разновременных космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2014. № 3. С. 35–52.
- Балдина Е.А., Трошко К.А. Картографирование современного состояния и многолетних изменений в использовании сельскохозяйственных земель в дельте Волги // Геодезия и картография. 2016. № 11. С. 39–46.

- Балдина Е.А., Лабутина И.А., Лычагин М.Ю. Локальные природоведческие ГИС на основе аэрокосмических снимков // География, общество, окружающая среда. Т. 7. Картография, геоинформатика и аэрокосмическое зондирование. 2004. С. 341–355.
- Балдина Е.А., Кравцова В.И. Цветовой синтез разновременных снимков как метод изучения динамики природных и хозяйственных объектов // Геодезия и картография. 2006. № 3. С. 37–54.
- Вахнина О.В., Чалова Е.Р. Концепция аэрокосмического Интернет-атласа университетских территорий (на примере территорий Московского университета) // Географический вестник. Пермь: изд-во Пермского гос. ун-та. 2007. № 1–2 (5). С. 35–41.
- Голубева Е.И., Зимин М.В., Тутубалина О.В., Рис У.Г., Червякова А.А., Деркачева А.А. Методы изучения спектральных образов и биохимических особенностей растений Кольского полуострова для интерпретации ДДЗ // Материалы 6-й молодежной науч. конф. «Дистанционное зондирование компонентов природной среды: получение, обработка и анализ данных». 2014. С. 6–11.
- Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Методика и результаты. М.: Наука, Берлин: Академи Ферлаг, 1982. 83 с.
- Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков. Методика и результаты. Сканирующая система "Фрагмент". М.: Наука, Берлин: Академи Ферлаг, 1988. 124 с.
- Земля – планета людей. Взгляд из космоса. Географический атлас. Ред.-составитель Э.М. Цыпина. М.: ЛА ВАРЯГ, 1995. 120 с.
- Зимин М.В., Ботавин Д.В. Геопортальные технологии в работе МГУ имени М.В. Ломоносова // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2011. № 11. С. 95–102.
- Зимин М.В., Тутубалина О.В. Геопортал МГУ: история, результаты, перспективы развития // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2012. № 14. С. 54–61.
- Зимин М.В., Тутубалина О.В., Голубева Е.И., Рис Г.У. Методика наземного спектрометрирования растений Арктики для дешифрирования космических снимков // Vestnik Moskovskogo Unviersiteta. Seriya Geografiya. 2014. № 4. Р. 34–41.
- Золотарев Е.А. Эволюция оледенения Эльбруса. Картографо-аэрокосмические технологии гляциологического мониторинга. М.: Научный мир, 2009. 238 с.
- Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Оценка деградации оледенения Эльбруса методами цифрового картографирования // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2007. № 5. С. 43–51.
- Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Эволюция оледенения Эльбруса после малого ледникового периода // Лёд и Снег. 2012. № 2 (118). С. 15–22.
- Иванов В.В., Коротаев В.С., Лабутина Т.А. Морфология и динамика дельты р. Селенги // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2007. № 4. С. 48–54.

- Касимов Н.С., Голубева Е.И., Лурье И.К., Зимин М.В., Самсонов Т.Е., Тутубалина О.В., Рис У.Г., Михеева А.И., Аляутдинов А.Р. Библиотека спектральных характеристик географических объектов в структуре Геопортала МГУ // Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya Geografiya. 2015. № 5. P. 3–8.
- Кизяков А.И., Зимин М.В., Лейбман М.О., Правикова Н.В. Мониторинг скорости термоденудации и термоабразии на западном побережье острова Колгуев с использованием материалов космической съемки высокого разрешения // Криосфера Земли. 2013. Т. 17. № 4. С. 36–47.
- Кизяков А.И., Сонюшкин А.В., Лейбман М.О., Зимин М.В., Хомутов А.В. Геоморфологические условия образования воронки газового выброса и динамика этой формы на Центральном Ямале // Криосфера Земли. 2015. Т. 19. № 2. С. 15–25.
- Книжников Ю.Ф. Принципы и методы аэрокосмических исследований динамики географических явлений. Автореф. докт. дисс. М., 1986. 48 с.
- Книжников Ю.Ф. Аэрокосмическое стереомоделирование. М.: Научный мир, 2015. 112 с.
- Книжников Ю.Ф., Вахнина О.В., Харьковец Е.Г., Ильясов А.К., Евстратова Е.Г., Шахмина М.С. Трехмерное аэрокосмическое моделирование: учебное пособие. М.: географический фак-т МГУ, 2011. 216 с.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И. Аэрокосмические исследования динамики географических явлений. М.: Изд-во МГУ, 1991. 206 с.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И. Дешифрирование стереоскопической модели местности // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 6. С. 53–58.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований: Учебник для студентов высших учебных заведений // М.: Издательский центр «Академия», 2004. 336 с.
- Кравцова В.И. Аэрокосмические методы в географических исследованиях Московского университета // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 1999. № 2. С. 19–24.
- Кравцова В.И. Распространение термокарстовых озер в России // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2009. № 3. С. 33–42.
- Кравцова В.И. Космические снимки и экологические проблемы нашей планеты. М.: ИТЦ СканЭкс, 2011. 255 с.
- Кравцова В.И. Пространственная структура экотона тундра–тайга на плато Путорана по космическим снимкам сверхвысокого разрешения // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2012. № 1. С. 67–75.
- Кравцова В.И. Дискретная пиксельная стереомодель: графическое моделирование. М.: Научный мир, 2014. 172 с.
- Кравцова В.И. Космические методы исследования почв. Учебное пособие для студентов вузов, 2005. 190 с.
- Кравцова В.И., Ерлич В.А. Картографирование динамики застройки Подмоскovie за последнее десятилетие по космическим снимкам // Геодезия и картография. 2012. № 5. С. 32–43.
- Кравцова В.И., Ерлич В.А. Картографирование структуры застройки территорий, присоединяемых к Москве // Геодезия и картография. 2013. № 6. С. 23–32.

- Кравцова В.И., Конфектов М.Н. Исследование типов застройки Московской области по космическим снимкам сверхвысокого разрешения // Геоинформатика. 2012. № 4. С. 51–63.
- Кравцова В.И., Крыленко В.В., Другов М.Д., Бойко Е.С. Исследование динамики рельефа северо-западной части Анапской пересыпи по материалам воздушного лазерного сканирования // Геоинформатика, 2017 (в печати).
- Кравцова В.И., Лошкарева А.Р. Динамика лесотундровой растительности на севере Кольского полуострова в связи с климатическими изменениями: исследование по разновременным аэрокосмическим снимкам. ИнтерКарто-ИнтерГИС-15: материалы междунар. конф. Т. 1. 2009. С. 297–307.
- Кравцова В.И., Лошкарева А.Р. Исследование северной границы леса по космическим снимкам разного разрешения // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2010. № 6. С. 49–57.
- Кравцова В.И., Лурье И.К., Марков Д.В. Картографирование изменений береговой линии Аральского моря по космическим снимкам // Геодезия и картография. 2001. № 4. С. 32–39.
- Кравцова В.И., Лурье И.К., Мудря Т.М. Космический мониторинг усыхания Арала // Геодезия и картография. 2002. № 10. С. 46–52.
- Кравцова В.И., Митькиных Н.С. Устья рек России. Атлас космических снимков / Под ред. В.Н. Михайлова. М.: Научный мир, 2013. 124 с.
- Кравцова В.И., Проворова И.А. Космический мониторинг формирования Новой дельты р. Терек // Геодезия и картография. 2014а. № 2. С. 36–44.
- Кравцова В.И., Проворова И.А. Исследование и картографирование динамики дельты Куры по космическим снимкам // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014б. № 3. С. 32–41.
- Кравцова В.И., Родионова Е.А. Картографирование и анализ динамики застройки в ближнем Подмоскowie по космическим снимкам // Геодезия и картография. 2007. № 4. С. 43–50.
- Кравцова В.И., Родионова Т.В. Исследование динамики площади и количества термокарстовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам // Криосфера Земли. 2016. Т. XX. № 1. С. 81–89.
- Кравцова В.И., Чалова Е.Р. Картографирование ландшафтно-морфологической структуры участка Анапской пересыпи по космическим снимкам высокого разрешения // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № 1. С. 65–73.
- Кравцова В.И., Шуматиев В.В. Новые подходы к обработке разновременных космических снимков на примере исследования динамики дельты Урала // Геоинформатика. 2005. № 33. С. 52–61.
- Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: Аспект-Пресс. 2004, 184 с.
- Лабутина И.А. Многолетние изменения морского края дельты Волги и прилегающих к нему участков устьевого взморья. // Устья рек Каспийского региона / Под ред. В.Н. Михайлова. М.: ГЕОС. 2013. С. 435–442.
- Лабутина И.А., Балдина Е.А. Мониторинг распространения лотоса в дельте Волги // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2009. № 4. С. 27–33.

- Лабутина И.А., Балдина Е.А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ. Методическое пособие. М.: WWF, 2011. 88 с.
- Михайлюкова П.Г., Тутубалина О.В. Картографирование вулканических извержений на основе радиолокационной интерферометрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 153–163.
- Михеева А.И. Исследование изменений верхней границы леса по аэрокосмическим снимкам // Геодезия и картография. 2011. № 1. С. 31–36.
- Михеева А.И., Тутубалина О.В., Зимин М.В., Голубева Е.И. Методика субпиксельной классификации растительности экотона "тундра-тайга" по космическому снимку Terra ASTER (на примере долины р. Тульок, Хибинские горы) // Исследование Земли из космоса. 2017. № 1. С. 24–34.
- Новичихин А.Е., Тутубалина О.В. Интеграция алгоритмов обработки космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения для автоматизированного дешифрирования лесной растительности // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2009. № 3. С. 40–42.
- Петраков Д.А., Дробышев В.Н., Аристов К.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. Изменения в зоне Геналдонской гляциальной катастрофы в период 2002–2010 гг. // Криосфера Земли. 2013. Т. 17. № 1. С. 35–46.
- Сейнова И.Б., Черноморец С.С., Тутубалина О.В., Баринов А.Ю., Соколов И.А. Условия формирования селевых потоков в районах активного вулканизма (на примере вулканов Ключевской и Шивелуч, Камчатка). Часть 1 // Криосфера Земли. 2010а. Т. 14. № 2. С. 29–45.
- Сейнова И.Б., Черноморец С.С., Тутубалина О.В., Баринов А.Ю., Соколов И.А. Условия формирования селевых потоков в районах активного вулканизма (на примере вулканов Ключевской и Шивелуч, Камчатка). Часть 2 // Криосфера Земли. 2010б. Т. 14. № 3. С. 29–36.
- Трошко К.А. Применение радиолокационных данных в географических исследованиях и картографировании: разработка наглядного пособия // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № 3. С. 72–79.
- Тутубалина О.В., Балдина Е.А., Зимин М.В., Ботавин Д.В., Ерёмкина П.Г. Геопортал МГУ – новые возможности для географических исследований и образования // Современная географическая картография / Сб. под ред. И.К. Лурье и В.И. Кравцовой. 2012. С. 236–242.
- Тутубалина О.В., Голубева Е.И., Зимин М.В., Труфанов А.В., Тарасов М.К., Деркачева А.А., Садовая И.В., Серёда И.И. Информационная поддержка технологий точного земледелия на основе методов дистанционного зондирования // Экология. Экономика. Информатика. Сб. статей: в 2-х томах. Институт аридных зон, Южный научный центр РАН, Южный федеральный университет. 2016. Т. 2. С. 327–336.
- Тутубалина О.В., Зимин М.В., Голубева Е.И., Тарасов М.К., Михеева А.И., Ерёмкина П.Г., Аляутдинов А.Р., Самсонов Т.Е. Опыт создания спектральной

- библиотеки водной и наземной растительности ключевых участков дельты р. Селенга // Экология, экономика, информатика. Сб. статей в 3 томах. Т. 3: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2015. С. 92–101.
- Тутубалина О.В., Петраков Д.А., Черноморец С.С. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. 2005. Т. 9. № 4. С. 62–71.
- Тюкавина А.Ю. Определение сомкнутости крон редкостойных лиственничников таймыра по космическим снимкам разного разрешения // Исследование Земли из космоса. 2012. № 5. С. 64–74.
- Хайбрахманов Т.С. Геоинформационное картографирование функциональных зон городских территорий по космическим снимкам // Геоинформатика. 2014. № 2. С. 55–62.
- Цифровая стереоскопическая модель местности: экспериментальные исследования / Под ред. Ю.Ф. Книжникова. М.: Научный мир, 2004. 244 с.
- Чалов С.Р., Базилова В.О., Тарасов М.К. Баланс взвешенных наносов в дельте Селенги в конце XX – начале XXI века: моделирование по данным снимков Landsat // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 1–8.
- Чалова Е.Р., Вахнина О.В. Космические снимки и аэрокосмический интернет-атлас Московского университета в географо-экологическом образовании // География и экология в школе XXI века. 2016. № 2. С. 46–51.
- Baldina E.A., Labutina I.A., De Leeuw J., Kooistra J.F., Gorbunov A.K., Zhivogliad A.F. Vegetation change in the Astrachanskiy biosphere reserve (Lower Volga Delta, Russia) in relation to Caspian sea level fluctuations // Environmental Conservation. 1999. V. 26. № 3. P. 169–178.
- Ginzburg A.I., Kostianoy A.G., Sheremet N.A., Kravtsova V.I. Satellite monitoring of the Aral Sea region // The Aral Sea Environment. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2010. P. 147–179.
- Kravtsova V.I. Response of reed mudflats in the Caspian coastal zone to sea level fluctuations // Remote sensing and geospatial technologies for coastal ecosystem assessment and management / Ed. Xiaojun Yang. Berlin: Springer Verlag, 2009. P. 439–460.
- Kravtsova V.I., Lukyanova S.A. Studies of recent changes in the Caspian coastal zone of Russia based on aerial and space imagery // Journ. of Coastal Research. 2000. V. 16, № 1. P. 196–206.
- Kravtsova V.I., Tutubalina O.V., Hofgaard A. Aerospace mapping of the status and position of Northern forest limit // Geography, Environment, Sustainability. 2012. V. 5. № 3. P. 28–47.
- Mikheeva A.I., Novichikhin A.E., Tutubalina O.V. Linear spectral mixture modelling of arctic vegetation using ground spectroradiometry // Polar Record. 2012. V. 48. № 244. P. 63–74.
- Petrakov D.A., Tutubalina O.V., Aleinikov A.A., Chernomorets S.S., Evans S.G., Kidyayeva V.M., Krylenko I.N., Norin S.V., Shakhmina M.S., Seynova I.B. Monitoring of

Bashkara Glacier lakes (Central Caucasus, Russia) and modelling of their potential outburst // *Natural Hazards*. 2012. Т. 61. № 3. С. 1293–1316.

Petrov M.A., Sabitov T.Y., Tomashevskaya I.G., Glazirin G.E., Chernomorets S.S., Savernyuk E.A., Tutubalina O.V., Petrakov D.A., Sokolov L.S., Dokukin M.D., Giorgos M., Virginia R., Markus S. Glacial lake inventory and lake outburst potential in Uzbekistan // *Science of the Total Environment*. Elsevier BV (Netherlands). 2017. V. 592. P. 228–242.

V.I. Kravtsova, O.V. Tutubalina, M.V. Zimin

REMOTE SENSING IN GEOGRAPHICAL RESEARCH: MAIN ACHIEVEMENTS OF THE LABORATORY OF AEROSPACE METHODS AND AREAS OF FUTURE DEVELOPMENT

The article presents a review of the main scientific achievements of the Laboratory of Aerospace Methods throughout its existence and specifically in recent years, in the fields of stereophotogrammetry, theory of stereogeomodeling, development of image interpretation techniques for various types of remotely-sensed imagery, studies of geosystem dynamics through image time series, applied aerospace research, and aerospace education for geographers, as well as popularization of remote sensing for general public. Prospective directions of research are proposed, including technologies for automated processing of remotely-sensed “big data”, hyperspectral surveys, interferometric and polarimetric processing of radar images, interpretation of thermal images, development of full-time and distance-learning aerospace training courses.

О.В. Вахнина, Е.Г. Харьковец, Е.Р. Чалова

ПОЛЕВАЯ ФОТОСЪЁМКА В РАБОТАХ ЛАБОРАТОРИИ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ: ОТ ПЕРВЫХ ПРИБОРОВ ДО ЦИФРОВОЙ ФОТОГРАФИИ

Полевые фотографические съёмки с начала их возникновения и до наших дней остаются эффективным средством исследования географических объектов. Использование материалов фотосъёмки позволяет выполнять не только качественную, но и количественную оценку параметров объекта или явления, анализировать динамику объекта. Развитию методов полевых фотографических съёмок, включая разработку аппаратуры, новых видов съёмки, а также методов получения и обработки фотоматериалов посвящено одно из направлений научной работы лаборатории аэрокосмических методов. Методические разработки лаборатории лежат в основе географических исследований, проведённых сотрудниками лаборатории совместно со специалистами других кафедр: изучения ледников Эльбруса, склоновых процессов в Приэльбрусье и Хибинах, тематического картографирования территории Астраханского заповедника и других регионов СССР и России.

Основные направления исследований

Лаборатория аэрофотометодов (сейчас – лаборатория аэрокосмических методов) с момента её основания в 1952 г. считала одной из основных своих задач внедрение в полевые географические исследования дистанционных методов, в том числе методов полевой фотографической съёмки. Разработка и внедрение методов фотосъёмки проводились при поддержке ведущих учёных географического факультета – Г.К. Тушинского, О.К. Леонтьева, Н.И. Маккавеева и других, способствовавших определению приоритетных исследований и давших высокую оценку полученных лабораторией результатов.

Продвигаясь в своих исследованиях в соответствии с мировым опытом и уровнем технологий, сотрудники лаборатории не только развивали передовые идеи своего времени, но и в ряде случаев предвосхищали своими разработками появление новых направлений в дистанционном зон-

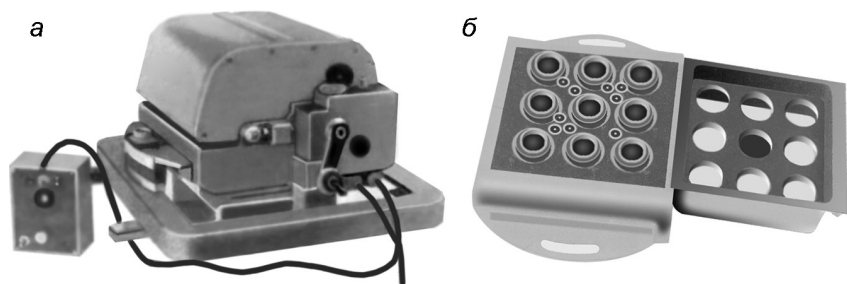


Рис. 1. Девятиобъективная камера, предвосхитившая идею многозональной съёмки (разработка И.Р. Зайтова, С.И. Цупруна): а – общий вид; б – прикладная рамка с объективами и откидной доской для крепления светофильтров

дировании. Подготовленные в лаборатории приборы защищены авторскими свидетельствами, отмечены медалями ВДНХ СССР, а созданная под руководством И.Р. Зайтова девятиобъективная аэрофотокамера для одновременной съёмки местности на три различных типа плёнки с тремя разными светофильтрами и экспозициями для каждого из них (Зайтов, Цупрун, 1962) получила признание в мире как пионерная в развитии метода многозональной съёмки (Manual of Remote Sensing..., 1975) (рис. 1).

Направления исследований, проводившихся в лаборатории в разные периоды её существования, формировались в значительной степени под влиянием всё возрастающих требований к оснащению полевых работ. Так в 1950–70-е годы прошлого века, когда встала задача создания простых в эксплуатации съёмочных и обрабатывающих приборов для геолого-географических исследований, в лаборатории под руководством Г.И. Валешко и И.Г. Индиченко были разработаны и изготовлены приборы для простейших измерений и дешифрирования снимков в полевых условиях – походный стереоскоп, стереовысотометр, уклонометр-параллаксометр. Сконструированы оптическая скамья для калибровки созданных в лаборатории фотокамер и ряд приспособлений для их юстировки. И.Г. Индиченко разработаны 10 типов стереофотограмметрических камер с переменным фокусом и базисом для съёмки природных объектов с близких расстояний (рис. 2), изготовлены их лабораторные образцы и получены свидетельства на изобретения. Они применялись для изучения солифлюкционных, оползневых и других склоновых процессов, а также при модельных экспериментах по изучению эрозии в гидрокорпусе МГУ (Индиченко, 1959). Созданы две глубоководные установки для съёмки подводных объектов, которые прошли испытания в океанологи-

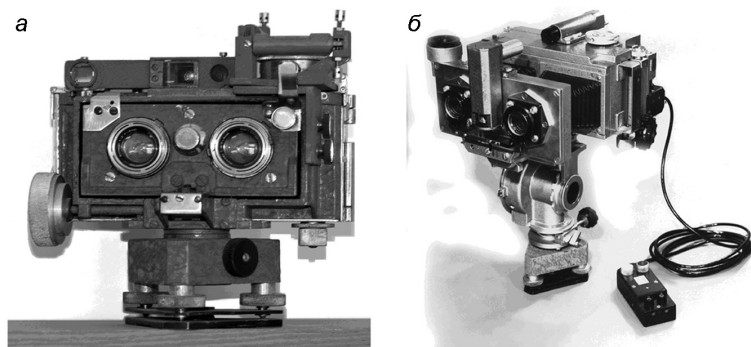


Рис. 2. Стереофотограмметрические камеры И.Г. Индиченко: *а* – «СКИ-10»; *б* – её полуавтоматический вариант

ческих экспедициях на судне «Московский университет». Ю.Ф. Книжниковым разработан сдвоенный стереокомпаратор для наблюдения и измерений в различных сочетаниях четырёх снимков, образующих две разномоментные стереопары (Книжников, 1997а).

В дальнейшем, в связи с развитием цифровой фототехники, появилась возможность выбора из широкого модельного ряда, представленного на современном рынке фотоаппаратуры, готовых цифровых фотокамер с параметрами, наиболее подходящими для решения конкретных задач. Встала задача калибровки фотоаппаратуры, разработки методик проведения съёмки и обработки цифровых снимков для получения количественных показателей объектов. С развитием вычислительной техники лаборатория постепенно перешла от создания оригинальных стереофотограмметрических приборов для обработки снимков к разработке и внедрению в научные исследования и учебный процесс цифровых методов обработки. Разработанные в лаборатории специализированные программы по цифровой фотограмметрической обработке снимков (Книжников и др., 2011), в отличие от широко распространённых ЦФС, ориентированы на решение не типовых производственных, а конкретных научных и учебных задач. Созданный цифровой фотограмметрический программный комплекс, предназначенный для автоматизированного измерения координат точек по цифровым снимкам и проведения фотограмметрических расчётов, использован для составления карты оледенения Эльбруса (Золотарёв, Харьковец, 2007).

В лаборатории особое внимание всегда уделялось исследованию динамики объектов, для чего применялась разновременная стереоскопиче-

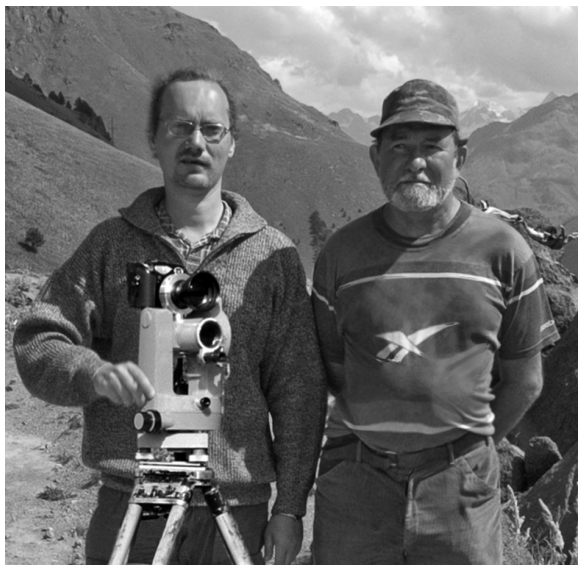


Рис. 3. Стереодатосъёмки ледников Приэльбрусья съёмочной установкой, состоящей из серийной цифровой фотокамеры Nikon и ориентирующего устройства. На снимке слева направо С.Г. Нечелюстов и Е.А. Золотарёв

ская фотосъёмка с использованием фототеодолитов, а в последнее время – калиброванных цифровых фотокамер профессионального класса. Разрабатывались методы исследования динамики природных объектов и опасных природных процессов. Полевые фототеодолитные съёмки Эльбруса, проводившиеся сотрудниками лаборатории на протяжении более 50 лет, послужили основой для разработки многочисленных методик изучения динамики ледников и теоретических обобщений исследований эволюции Эльбруса (Оледенение ..., 1968, Золотарёв, 2009). В период Международного геофизического года (МГГ) в 1957–1959 гг. была выполнена фототеодолитная съёмка оледенения Эльбруса, по материалам которой составлена 19-листная карта масштаба 1:10 000 – для оледенения в целом и 1:2 500 – для концов отдельных ледников, ставшая базовой для его дальнейшего картографо-аэрокосмического мониторинга (Лаппо, 1961). Примером специализированной цифровой научной съёмки могут служить стереодатосъёмки ледников Приэльбрусья в 2004 г. разработанным в лаборатории цифровым фототеодолитом (рис. 3) – съёмочной установкой, состоящей из серийной цифровой фотокамеры Nikon и ориентирующего устройства (Золотарёв и др., 2004).

В работах Ю.Ф. Книжникова (1970, 1973) был развит и получил практическое применение стереофотограмметрический способ определения скоростей движения льда на основе псевдопараллакса, который впоследствии был использован при разработке методов исследования склоновых процессов – определения характеристик движения материала осыпей, оползней, других опасных явлений в высокогорье (Винников и др., 1982). Этот метод положен в основу изучения движения ледников по цифровым наземным и космическим снимкам (Книжников, 1997б; Книжников, Гельман, 1998).

Большой вклад в разработку стереофотограмметрического метода изучения динамики объектов внёс Ф.В. Никулин изобретением способа наблюдения и измерения двойной стереоскопической модели (Никулин, 1971). Двойная стереоскопическая модель позволяет не только количественно характеризовать, но и визуально воспринимать зафиксированные снимками изменения, совмещая, таким образом, процесс дешифрирования динамики объектов с получением количественных показателей их изменений.

Для изучения таких быстротекущих краткосрочных процессов, как сход лавин, разработан и применялся в 1960-х годах в Хибинах и Приэльбрусье метод скоростной стереосъёмки с помощью специально созданного комплекса синхронно работающих аэрофотокамер (Брюханов, 1966). На современном этапе способствовать решению подобной задачи могло бы применение высокоскоростной цифровой фотосъёмки (Edgertronic., 2016). В настоящее время разработки мировых производителей фототехники в области высокоскоростной съёмки находятся на очень высоком уровне, однако примеров решения конкретных географических задач на её основе всё ещё нет. Эта проблема может стать одной из перспективных направлений исследований в лаборатории аэрокосмических методов.

Дистанционные методы полевых географических исследований отработывались и на учебно-научном полигоне «Сатино». Здесь в восьмидесятые годы прошлого века заведующим лабораторией Ю.Ф. Книжниковым (рис. 4, 5) были инициированы разносезонные съёмки с беспилотного носителя, а с 2008 г. проводится наземное спектрометрирование луговой растительности для выявления сезонной динамики её спектральных характеристик и взаимосвязи с величиной продукции (Микляева, Вахнина, 2016).

Большой опыт проведения наземных исследований для развития дистанционных методов изучения природных ресурсов был получен



Рис. 4. Съёмка с беспилотных носителей на учебно-научном полигоне «Сатино» (1980 г.): присутствуют Г.И. Рычагов, Ю.В. Свентэк, Ю.Ф. Книжников, Л.П. Винников



Рис. 5. Снимки территории полигона в Сатино, сделанные беспилотными носителями в разные сезоны года

в лаборатории в 1970-е годы при участии группы её сотрудников под руководством И.А. Лабутинной в организованных Институтом космических исследований АН СССР исследованиях на подспутниковых полигонах, съёмка которых выполнялась и из космоса, и с самолёта-

лаборатории АН-30. В числе иных методов обследования наземных объектов применялось фотографирование на цветную плёнку состояния и проективного покрытия посевов. Материалы повторных полевых обследований на одном из участков в Ферганской долине послужили основой на начальных этапах разработки методов применения многозональной съёмки для дешифрирования сельскохозяйственных культур (Бутивщенко Т.П. и др., 1979; Бутивщенко Т.П., Лабутина И.А., 1980; Союз-22..., 1980; Sojus-22..., 1980).

Дальнейшее развитие это направление получило уже на новом витке космических технологий и дистанционного зондирования, когда со спутников начали выполнять гиперспектральную съёмку, и потребовалось проведение полевых исследований для создания библиотеки спектральных образов. Работы проводит современное поколение исследователей под руководством О.В. Тутубалиной и М.В. Зимина (Деркачёва и др., 2015), применяющих при изучении сельскохозяйственных культур для целей «точного земледелия» полевое географическое описание и фотосъёмку исследуемого объекта в сочетании со спектрометрированием и использованием материалов многозональной съёмки с беспилотных летательных аппаратов.

В последнее время в связи с доступностью цифровой фототехники наряду с научными разработками всё большее значение приобретает обучение географов приёмам качественной фотосъёмки, способам специальной съёмки, своего рода фотографической грамоте. С этой целью в лаборатории аэрокосмических методов, по инициативе Ю.Ф. Книжникова, разработан и внедрён в учебный процесс на общегеографической практике студентов первого курса в Сатино факультативный учебный курс «Цифровая фотография в географических исследованиях». На занятиях студенты знакомятся с основами цифровой фотографии, различными видами наземных фотографических съёмок и особенностями их применения в полевых географических исследованиях, осваивают технические приёмы и приобретают навыки получения и обработки цифровых фотографий на примере выполнения практических заданий (рис. 6).

Как вклад лаборатории в дело сохранения традиций научной географической фотографии, в помощь курсу выпущено электронное учебное пособие (Вахнина и др., 2016), ориентированное как на студентов, так и на начинающих специалистов-географов, применяющих цифровую наземную фотосъёмку в полевых исследованиях. Пособие помогает понять суть процесса регистрации и компьютерной обработки цифровых изображе-

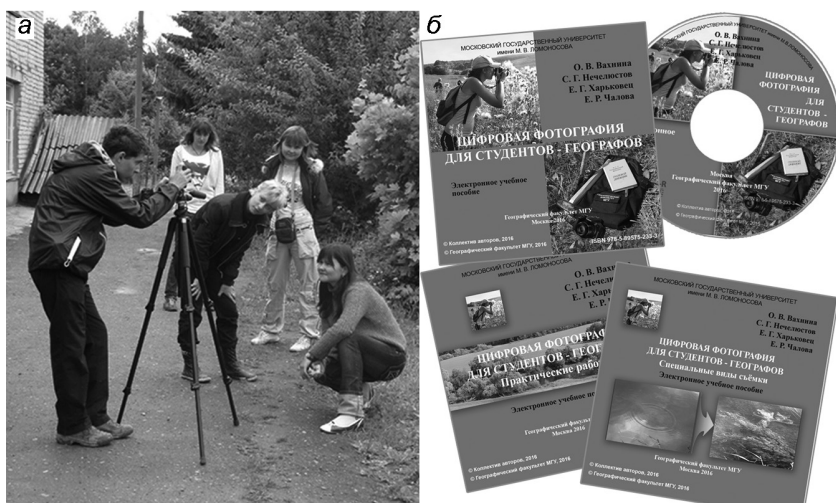


Рис. 6. Цифровая фотография в географических исследованиях: *а* – студенты первого курса на занятиях по цифровой фотографии; *б* – электронные пособия по цифровой фотографии, подготовленные в лаборатории аэрокосмических методов

ний, содержит обзор специальных видов съёмки, полезных для решения географических задач, подробные инструкции по выполнению съемок.

Заключение

За 65-летний период своего существования лабораторией аэрокосмических методов разработаны методики сбора наземной информации с использованием разных видов фотосъёмок, их обработки и применения для развития аэрокосмических методов исследования и решения ряда географических задач фундаментального и прикладного характера. Пройден путь от создания съёмочной аппаратуры для полевых географических исследований, разработки и внедрения методов полевых фотографических съёмок до разработки и внедрения в научные исследования и учебный процесс специализированных методов цифровой обработки снимков. Опыт лаборатории в области применения полевой фотосъёмки и научной фотографии для решения географических задач признан в нашей стране и обобщён в многочисленных научных публикациях и учебных пособиях.

Литература

- Брюханов А.В. О механизме движения снежных лавин // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 1966. № 2. С. 92–96.
- Бутивищенко Т.П., Кондратова Ю.И., Лабутина И.А. Изучение состояния посевов хлопчатника и особенностей почвенного покрова по многозональным снимкам // Космическая съёмка и тематическое картографирование. Методика обработки многозональных снимков / Ред. К.А. Салищев, Ю.Ф. Книжников. М.: Изд-во МГУ, 1979. С. 181–191.
- Бутивищенко Т.П., Лабутина И.А. Изучение и картографирование сельскохозяйственного использования земель и состава культур в районах орошаемого земледелия // Космическая съёмка и тематическое картографирование. Географические результаты многозональных космических экспериментов / Ред. К.А. Салищев, Ю.Ф. Книжников. М.: Изд-во МГУ, 1980. С. 202–218.
- Вахнина О.В., Нечелюстов С.Г., Харьковец Е.Г., Чалова Е.Р. Цифровая фотография для студентов-географов. М.: географический фак-т МГУ, 2016. 96 с.
- Винников Л.П., Книжников Ю.Ф., Никулин Ф.В. Наземная фотограмметрия в инженерно-географических исследованиях. М.: Изд-во МГУ, 1982. 114 с.
- Деркачева А.А., Тутубалина О.В., Зимин М.В., Голубева Е.И. Применение авиационных гиперспектральных снимков и наземных данных для целей точного земледелия // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2015. Спецвыпуск. С. 43–46.
- Заитов И.Р., Цупрун С.И. Аэрофотоаппарат для выбора типа пленки // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 1962. № 3. С. 77–81.
- Золотарёв Е.А. Эволюция оледенения Эльбруса: Картографо-аэрокосмические технологии гляциологического мониторинга. М.: Научный мир. 2009. 238 с.
- Золотарёв Е.А., Нечелюстов С.Г., Харьковец Е.Г. Оценка возможности применения наземной цифровой стереофотограмметрической съёмки в географических исследованиях // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2004. № 3. С. 15–18.
- Золотарёв Е.А., Харьковец Е.Г. Оценка деградации оледенения Эльбруса методами цифрового картографирования // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2007. № 5. С. 45–51.
- Индищенко И.Г. Стереофотограмметрические спаренные камеры // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 1959. № 2. С. 109–111.
- Книжников Ю.Ф. Авторское свидетельство № 302602 на изобретение «Стереоскопический компаратор» с приоритетом от 12 января 1970 г.
- Книжников Ю.Ф. Исследование движения льда горных ледников стереофотограмметрическим методом. М.: Наука, 1973. 103 с.
- Книжников Ю.Ф. Особенности стереоскопических измерений разновременных космических фотоснимков при изучении движения горных ледников // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъёмка. 1997а. № 2–3. С. 102–111.
- Книжников Ю.Ф. Аэрокосмическое зондирование. Методология, принципы, проблемы: Учебное пособие. М.: Изд-во МГУ, 1997б. 129 с.

- Книжников Ю.Ф., Гельман Р.Н. Особенности применения цифровых фотограмметрических систем для изучения движения горных ледников // Геодезия и картография. 1998. № 3. С. 44–49.
- Книжников Ю.Ф., Вахнина О.В., Харьковец Е.Г., Евстратова Л.Г., Ильясов А.К., Шахмина М.С. Трехмерное аэрокосмическое моделирование: Учебное пособие / Ред. Ю.Ф. Книжников. – М.: географический ф-т МГУ, 2011. 216 с.
- Лаппо (Лабутина) И.А. Карта оледенения Эльбруса // Информ. сб. о работах географического фак-та МГУ по МГГ. № 7. М., 1961. С. 98–105.
- Микляева И.М., Вахнина О.В. Фитомасса долинных лугов. Взаимосвязь с величиной вегетационного индекса (по результатам наземного спектрометрирования) // Использование и охрана природных ресурсов в России. НИА-Природа. 2016. № 4. С. 29–35.
- Никулин Ф.В. Авторское свидетельство № 381889 на изобретение «Способ стереоскопического наблюдения фотоснимков» с приоритетом от 9 июля 1971 г. Оледенение Эльбруса. Под ред. Г.К. Тушинского М.: Изд-во МГУ. 1968. 346 с.
- Союз–22 исследует Землю. М.: Наука, 1980. 232 с.
- Edgertronic SC2+ Review//<http://www.hispeedcams.com/edgertronic-sc2-review-part-1/>
- Manual of Remote Sensing // American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia. 1975. V. 1. С. 294–295.
- Sojus–22 erforscht die Erde. Akademie-Verlag Berlin. 1980. 232 s.

O.V. Vakhnina, Ye.G. Kharkovets, E.R. Chalova

FIELD PHOTOGRAPHY IN THE AEROSPACE LABORATORY RESEARCH: FROM FIRST DEVICES TO DIGITAL PHOTOS

The article summarizes the practices and experience accumulated in the research of the prospects of improvement and application of scientific photography in the field of geographical studies provided by the Laboratory of aerospace methods, The Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. The article discusses the results of the development of the instrument base, methods for obtaining and processing materials of field photography, including the materials of stereo, multispectral and other types of photography.

Е.А. Балдина, П.Г. Михайлюкова, К.А. Трошко

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕМАТИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Введение

Радиолокационное зондирование Земли и методы обработки получаемых данных активно развиваются в течение нескольких последних десятилетий. В настоящее время мировая группировка спутников дистанционного зондирования Земли представлена 13 космическими системами радиолокационного наблюдения. Радиолокационная съёмка – вид аэрокосмической съёмки, осуществляемой радиолокатором – активным микроволновым датчиком, способным излучать и принимать отражённые земной поверхностью радиоволны. Ввиду особенностей принципов радиолокационной съёмки, она позволяет получать изображения вне зависимости от облачности и от условий освещения земной поверхности. При взаимодействии радиоизлучения с поверхностью параметры сигнала меняются в зависимости от её физических и геометрических свойств. Таким образом, свойства объектов «записываются» в параметрах обратного сигнала. Чувствительность к диэлектрическим и геометрическим свойствам наблюдаемых объектов предоставляет информацию, которая может быть использована как самостоятельно, так и совместно с данными, полученными в оптическом диапазоне. При радиолокационном зондировании Земли из космоса наиболее активно используются сантиметровые и дециметровые диапазоны длин волн: X, C и L (что примерно согласуется с длиной волны в 3, 5 и 23 см соответственно), а также такое свойство электромагнитных волн, как поляризация.

Радиолокационные данные имеют и недостатки: присутствие спеклшума, геометрические и яркостные искажения в районах с выраженным рельефом. Затруднения при интерпретации радиолокационных снимков вызывает влияние на формирование изображения большого количества одновременно действующих факторов. Сложность восприятия и специфичность обработки радиолокационных изображений, их меньшая до недавнего времени доступность по сравнению со снимками оптического диапазона обуславливают тот факт, что эти

данные в гораздо меньшей степени используются для географических исследований и тематического картографирования по сравнению со снимками оптического диапазона. Развитие методов радиолокации и их применение на протяжении десятилетий выполняли преимущественно специалисты в области физико-математических и технических наук и военные. Представители этих наук занимаются и их продвижением в науки о Земле, используя в большинстве случаев радиофизическую терминологию, не имеющую «перевода» на язык природоведов. Это вызывает необходимость разработки материалов, доступно иллюстрирующих возможности радиолокационных данных для географов.

Мировой опыт применения радиолокационных данных в географических исследованиях и картографировании

Широкие информационные возможности радиолокационных данных и методов их обработки обуславливают тот факт, что этот вид данных используется при решении большого перечня задач в разных областях: геологии, океанологии, сельском и лесном хозяйстве и многих других (Никольский, 2008; Ouchi, 2013; Land applications..., 2014). Наличие у радиосигнала нескольких составляющих (амплитуда, поляризация, фаза) способствовало развитию разнообразных методов их обработки, которые позволяют извлекать различные характеристики зондируемой поверхности (Moreira et al., 2013; Ouchi, 2013; Захаров и др., 2014). При этом часть методов во многом сходна с теми, что применяются при обработке снимков в видимом диапазоне. Например, обработка амплитудной информации, которая отчасти является аналогом яркости на снимках видимого диапазона, позволяет дифференцировать объекты на основе различий значений коэффициента обратного рассеяния; радарграмметрия позволяет формировать цифровые модели рельефа с использованием стереопар радиолокационных снимков аналогично фотограмметрической обработке стереопар снимков оптического диапазона. Однако большая часть методов использует специфические особенности радиолокационной информации, поэтому и исходные данные, и получаемые результаты носят принципиально новый характер. Так, интерферометрическая обработка (InSAR – Interferometric SAR) использует наряду с амплитудной фазовую информацию и позволяет вычислять высоты поверхности или их изменения (Massonnet, Feigl, 1998). Радиолокационная поляриметрия (PolSAR –

Polarimetric SAR), позволяет получать сведения о местности, основываясь на различиях в способности объектов менять поляризацию излучения.

Одной из наиболее ранних областей применения радиолокационных съёмок стало картографирование районов произрастания влажных тропических лесов, особенно часто закрытых облачностью. В настоящее время больше всего распространено оперативное создание карт ледовой обстановки, наводнений, нефтяных и других плёночных загрязнений акваторий. Радиолокационная съёмка играет большую роль в изучении и картографировании полярных районов, поскольку они часто закрыты облаками, а в зимний период года препятствием становится полярная ночь. Антарктида, например, впервые была отснята полностью именно радиолокационным методом (Jezek et al., 1998).

Подтверждённая многими исследователями эффективность применения данных радиолокационной съёмки для оценки состояния и мониторинга лесных и сельскохозяйственных территорий обусловлена высокой чувствительностью радиоволн к влагосодержанию почв (Dubois et al., 1995) и растений, объёму фитомассы (Santoro et al., 2010) и другим характеристикам почвенного и растительного покровов (Ouchi, 2013). Результатом таких исследований обычно служат количественные оценки объёма фитомассы, высоты древостоя, схемы севооборотов и распределения сельскохозяйственных культур.

В последние годы активно развиваются методы дифференциальной интерферометрии (DinSAR – differential SAR interferometry), которые на основе пар радиолокационных снимков, полученных через фиксированные интервалы времени, позволяют точно и детально вычислять изменения высоты поверхности. С применением метода дифференциальной интерферометрии ведётся регулярный мониторинг состояния ледяного покрова Антарктиды (Jezek, 2003), мест землетрясений и вулканов. Первым вулканом, для изучения которого стали использовать методы радиолокационной интерферометрии, стала Этна (Италия) (Massonnet et al., 1995). В течение 18 лет после запуска в 1991 г. спутника ERS-1 выполнялся систематический мониторинг 198 вулканов, а в первой половине 2010-х годов число таких вулканов возросло до 540 (Biggs et al., 2014). Результаты изучения и мониторинга поверхностей методами дифференциальной интерферометрии, как правило, представляют в виде растровых изображений, содержащих точные значения изменений высоты (величины смещений), но не карт.

Проведённый обзор применения материалов космических радиолокационных съёмок в географии показывает, что они обеспечивают

возможность получения уникальной информации о поверхности и используются во многих областях наук о Земле. При этом создаваемые с опорой на радиолокационные данные тематические карты в большинстве своём отображают один аналитический показатель (например, просадки поверхности), их содержание и оформление практически не проработано. Это делает актуальной разработку методик создания тематических карт с опорой на материалы радиолокационных съёмки.

Методы исследований

Работы с радиолокационными снимками в лаборатории аэрокосмических методов проводились ещё в 1990-е годы. Сначала это было дешифрирование изображений с советского спутника «Алмаз-1А», охватывающих преимущественно морские акватории. Позже, в середине 1990-х годов, в сотрудничестве с ИПЭ имени В.А. Котельникова РАН, проводилась обработка и оценка пригодности радиолокационных данных многочастотного и многополяризационного радиолокатора SIR-C/X-SAR, установленного на шаттле Endeavour, а затем радиолокаторов на спутниках ERS и Envisat для мониторинга природных объектов на примере дельты Волги и Калмыкии (Kucheryavenkova et al., 2000; Балдина, 2005; Кравцова, 2006). Проведённые за последние годы исследования с применением современных данных радиолокационного зондирования охватывают различные тематические направления и географические районы.

Визуальное и автоматизированное дешифрирование разновременных и многополяризационных радиолокационных снимков (на примере дельты Волги). Район дельты Волги с хорошо известными особенностями природы и хозяйства служил как тестовый для исследования информационных и изобразительных свойств радиолокационных снимков. На начальном этапе большое значение имела визуальная интерпретация изображений с опорой на снимки в видимом диапазоне и известные свойства территории. Дельта Волги представляет собой плоскую равнину, благодаря чему здесь практически отсутствуют обычные для радиолокационных снимков геометрические и яркостные искажения из-за рельефа местности, а различия в яркости изображения обусловлены, прежде всего, густотой и высотой растительного покрова, свойствами почвенного покрова, наличием водоёмов.

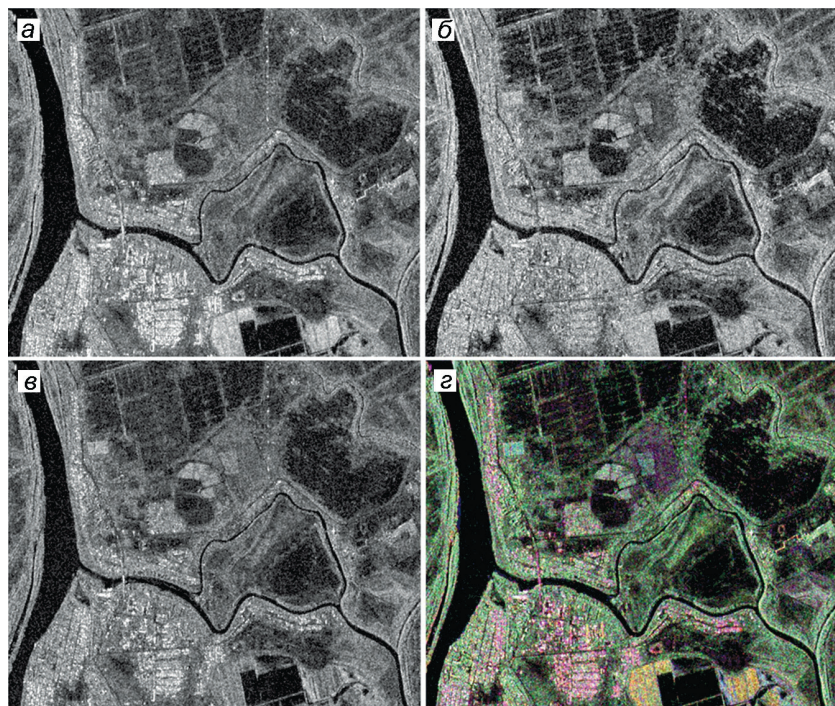


Рис. 1. Радиолокационные изображения Radarsat-2 (22.07.2014) в разных поляризациях: а) согласованной горизонтальной (ГГ), б) перекрёстной (ГВ), в) согласованной вертикальной (ВВ), з) их цветовой синтез (R – ГГ, G – ГВ, B – ВВ)

Например, произрастающие вдоль рек галерейные леса, тростниковые заросли благодаря объёмному рассеянию радиосигнала изображаются преимущественно светлыми тонами, а участки, где растительность практически отсутствует, – тёмными; тон обрабатываемых земель зависит от размеров неровностей (шероховатости) при отсутствии посевов, а при их наличии яркость изображения во многом определяется состоянием посевов; ровные участки бесструктурной почвы на необрабатываемых землях, как правило, много темнее, чем обрабатываемые поля, но в зависимости от влагосодержания их яркость может быть несколько выше. Эти различия проявляются по-разному на снимках в разных поляризациях (рис. 1, а-в). Комбинирование и цветовой синтез снимков, полученных при разных поляризациях, позволяет выявить различия в состоянии почвенного и растительного покровов, в частности, разделить неиспользуемые

земли с разной степенью развития растительности, обрабатываемые поля с открытой распаханной почвой и занятые посевами (рис. 1, 2).

Современная особенность территории дельты Волги заключается в большой доле неиспользуемых пахотных земель, подверженных процессам деградации из-за не обводнения их в половодье, что выражается в иссушении почв, зарастании полей древесно-кустарниковой галофитной растительностью (*Tamarix*). Для исследования свойств залежей летом 2014 г. по проекту SOAR-EI № 5137 (Science and Operational Applications Research – Education International Initiative) были выполнены повторные многополяризационные радиолокационные съёмки Radarsat-2 тестового участка. Одновременно со съёмками в дельте Волги проводились полевые наземные обследования снимаемой территории. Материалы наземных обследований, собранные синхронно с проведением радиолокационной съёмки, были особенно полезны при поиске оптимальных методик обработки данных Radarsat-2, так как служили для оценки качества получаемых результатов на разных этапах (Мартьянов и др., 2017).

Один из основных методов обработки радиолокационных данных, полученных в многополяризационном режиме съёмки, – это поляриметрические декомпозиции: формирование новых изображений, передающих различиями в яркости преобладающий механизм рассеяния обратного сигнала. Их обработка позволяет разделить местность на участки, различающиеся по характеру рассеяния, который соответствует разной мощности растительного покрова, и однозначно выявить оголённые участки без растительности, наличие которых свидетельствует о деградации прежде пахотных земель.

С использованием методов контролируемой классификации изображений, полученных в результате декомпозиций Pauli и Freeman-Durden, выполнена оценка степени относительной деградации неиспользуемых сельскохозяйственных земель: доля участков с оголённой иссушенной почвой составила 30% при общей площади залежей в 196 км², заросших древесно-кустарниковой растительностью – 13%, травянистой растительностью – 57%. Методы обработки поляриметрических данных Radarsat-2 позволили определить общее состояние залежей, возраст которых был впоследствии определён на основе визуального дешифрирования многовременных снимков со спутников Landsat.

Интерферометрическая съёмка как инструмент для анализа динамики рельефа вулканических районов (на примере лавовых полей Толбачинского Дола). В результате многоступенчатой интерферометри-

ческой обработки, в которой участвуют минимум два радиолокационных изображения, извлекают значения абсолютных высот местности или же относительные значения смещений земной поверхности. Эти значения в международной практике чаще напрямую используются для дальнейшего анализа выбранного района без создания картографического изображения.

Для изучения возможностей использования материалов интерферометрической обработки в картографировании был выбран район Толбачинского Дола, где в 2012–2013 гг. произошло крупное трещинное извержение, получившее название Трещинное Толбачинское извержение имени 50-летия ИВиС ДВО РАН, или сокращенно ТТИ-50. Извержение носило эффузивный характер, т.е. его основным продуктом были лавы. В результате сформировались три лавовых поля: в первые месяцы извержения образовались Водопадное и Ленинградское, и затем происходило формирование Толудского лавового поля. В качестве исходных данных использовались радиолокационные изображения Radarsat-2, полученные на последние месяцы извержения с восходящей и нисходящей орбит. Обработка была выполнена методом двухпроходной дифференциальной интерферометрии. В результате рассчитаны вертикальные смещения поверхности лавовых полей, которые преимущественно отрицательны, что позволяет говорить о просадке поверхности, максимальные значения которой достигают 6 см.

В процессе интерферометрической обработки получают как итоговые значения высот местности или смещений, так и промежуточные результаты, которые также могут служить самостоятельными источниками информации о состоянии объекта. Например, таким результатом являются значения когерентности, характеризующие согласованность двух разновременных отражённых сигналов, т.е. стабильность поверхности объекта во времени, которые могут быть представлены в виде изображения. Интерпретация картин когерентности подразумевает первоначальное знание возможных процессов, происходящих с объектом. Сформированное лавовое поле – наиболее сильно отражающий объект вулканического района, поэтому оно чётко выделяется на фоне окружающей местности. Если же активное течение лавы продолжается, то рассчитать значения когерентности для таких участков невозможно из-за сильной рассогласованности двух разновременных отражённых сигналов (рис. 2).

В период извержения и после его окончания активно формируется микрорельеф лавы. В июне–июле 2013 г. поверхность Толудского лавового поля активно формировалась – происходило её растрескивание,

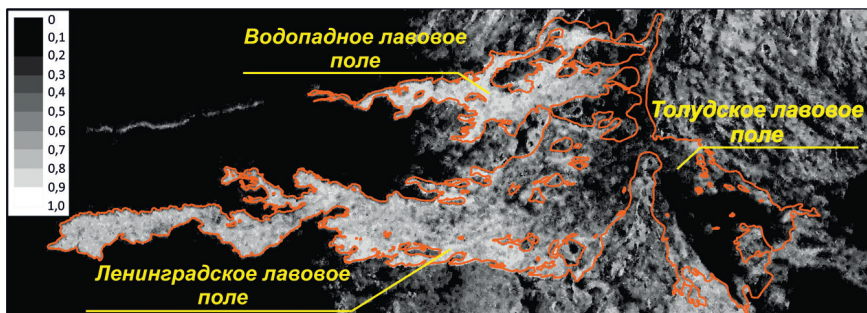


Рис. 2. Выделение границ лавовых полей Толбачинского извержения на основе изображения когерентности по паре радиолокационных снимков 29.06.2013 – 23.07.2013

поэтому рассчитать значения когерентности для таких участков невозможно. В августе, в последний месяц извержения, доля участков растрескивания существенно сократилась, поверхность большей части лавового поля сформировалась, и для неё характерны высокие значения когерентности, что позволяет детектировать просадки поверхности вследствие термодинамических процессов (Михайлюкова, Тутубалина, 2016).

Многokrатные радиолокационные съёмки Sentinel-1 для исследования северных приполярных территорий. Космические радиолокационные снимки весьма полезны для исследования, мониторинга и картографирования арктических территорий, где существенные ограничения на съёмку оптическими системами накладывает частая облачность и полярная ночь. Действующая с 2014 г. европейская система радиолокационного наблюдения Sentinel-1, данные которой распространяются на некоммерческой основе, обеспечивает регулярную съёмку приполярных районов в нескольких режимах с шириной полосы охвата до 400 км.

Для исследования информационных свойств новых радиолокационных данных и оценки возможностей создания карт с применением разновременных снимков выбран о. Котельный (архипелаг Новосибирские острова), который характеризуется большим для высоких широт ландшафтным разнообразием. Этот остров состоит из трёх частей, существенно различающихся своим рельефом и особенностями поверхности: о. Котельный (западная), Земля Бунге (центральная) и о. Фаддеевский (восточная). Западная часть – наиболее возвышенная, значительную её долю занимает плато с абсолютными высотами более 100 м, центральная представляет собой практически ровную песчаную

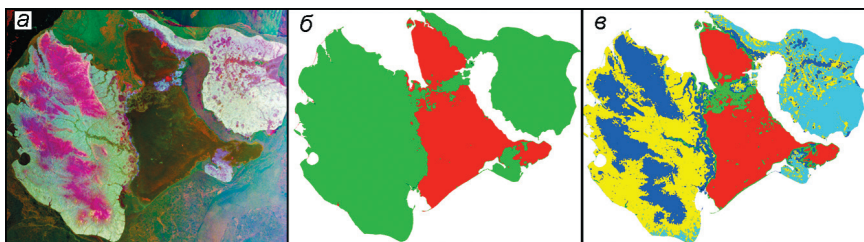


Рис. 3. Остров Котельный: а) многовременной снимок Sentinel-1A в согласованной горизонтальной поляризации (R – 22 мая, G – 3 июня, В – 26 августа 2016 г.), б) и в) результаты кластеризации с выделением 2 и 5 классов

пустыню, а восточная – равнину с большим количеством речных долин и термокарстовых котловин.

Использовано около 50 снимков, полученных в сверхширокозахватном (Extra-Wide Swath, EW) режиме съёмки, изображающих одновременно всю территорию острова с пространственным разрешением 40 м. Снимки получены с интервалом преимущественно в 12 суток и охватывают период с декабря 2014 г. по ноябрь 2016 г. Формирование на основе предварительно обработанных разносезонных снимков производного многовременного изображения и его последующий анализ показали, что на яркость изображения (величину обратного радиосигнала) влияет целый комплекс особенностей этой территории: характер расчленения рельефа (эрозионное или озёрно-термокарстовое) и его степень, наличие растительности разных типов (полярно-пустынного, тундрового, болотного), тип рыхлых отложений. Прослеживание изменений отражательных свойств разных участков за двухлетний период показало, что существенный вклад в величину обратного радиосигнала вносит состояние поверхности, обусловленное таянием и замерзанием сезонно-талого слоя. Наличие радиолокационных снимков, полученных в зимний период, позволяет разделять неглубокие озёра, промерзающие полностью, от глубоких, не промерзающих до дна.

Неконтролируемая классификация предварительно обработанного разносезонного многовременного радиолокационного снимка с разным количеством классов позволяет выделять природно-территориальные комплексы исследуемой территории разных иерархических уровней (рис. 3). Например, при задании двух классов (см. рис. 3, б) уверенно распознаются нерасчленённые песчаные поверхности, практически лишённые растительного покрова (красный цвет), и остальные участки с различной степенью эрозионного и озёрно-термокарстового расчлене-

ния, преимущественно покрытые растительностью (зелёный). При увеличении количества классов до 5 (см. рис. 3, в) в западной и восточной частях острова выделяются заболоченные долины рек и термокарстовые котловины (синий, жёлтый), равнинные участки с различным характером и степенью расчленения (жёлтый, голубой), возвышенные участки плато (синий), в центральной – нерасчленённая песчаная равнина (красный) и участки с преобладанием эрозионного расчленения, связанного с выходами плотных пород (зелёный).

Результаты исследований

В результате проведённых исследований на основе радиолокационных данных созданы карты разной тематики.

Карта сельскохозяйственных угодий участка дельты Волги. Совместное использование результатов обработки различных радиолокационных данных 2011 и 2014 гг. с материалами, полученными на основе топографических карт и одновременных снимков оптического диапазона Landsat (1984–2014 гг.), позволило создать карту сельскохозяйственных земель участка дельты Волги, на которой представлены три их характеристики: 1) виды использования земель в 2014 г., 2) динамика выведения пахотных земель из оборота (т.е. длительность периода их неиспользования) за 30-летний период и 3) современное состояние почвенно-растительного покрова неиспользуемых земель (рис. 4).

Карты динамики рельефа Толбачинского Дола. Анализ результатов интерферометрической обработки показал, что в целях картографирования возможно использовать как итоговые результаты (величины смещений или абсолютные отметки местности), так и промежуточные продукты интерферометрической обработки (картины когерентности). На основе проведённого анализа этого метода была разработана методика картографирования динамики рельефа (на примере вулканического района – Толбачинский Дол на Камчатке) и составлены примеры карт, одна из которых приведена на рис. 5.

Карта природно-территориальных комплексов о. Котельный. Визуальный анализ и автоматическая обработка преобразованных разносезонных снимков Sentinel-1A позволила выделить границы природно-территориальных комплексов о. Котельный, которые характеризуются различным сочетанием рельефа, растительного покрова и грунтов. Интерпретация

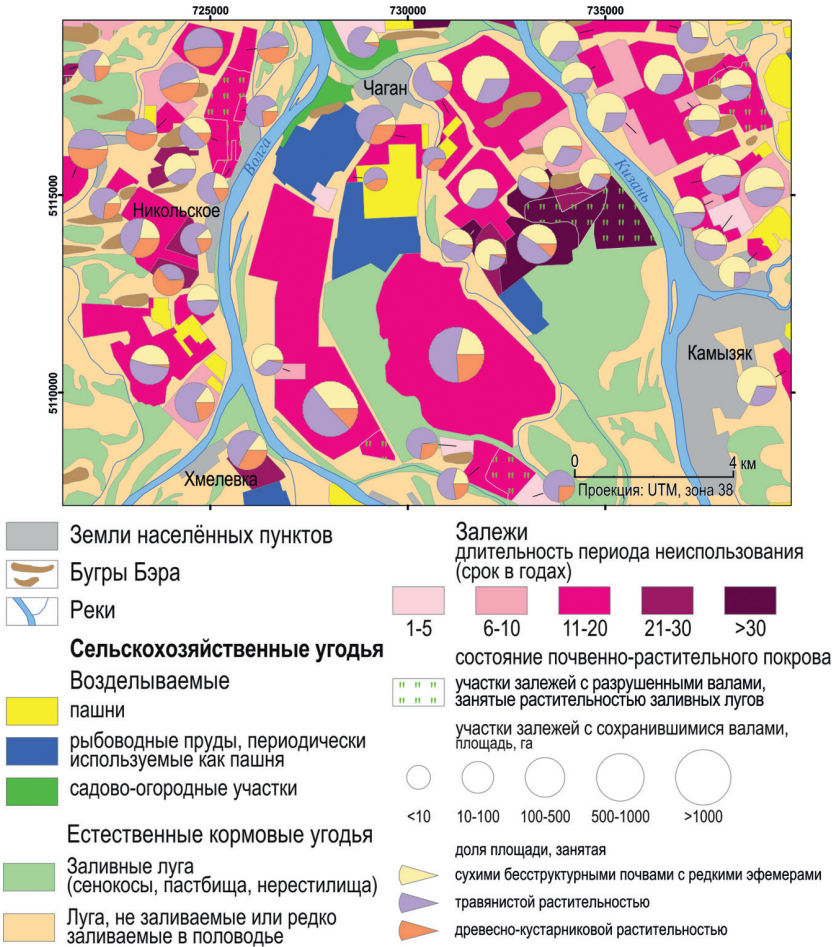


Рис. 4. Карта состояния неиспользуемых сельскохозяйственных земель, составленная с использованием снимков оптического и радиоволнового диапазонов

выделенных контуров выполнялась с опорой на известные закономерности взаимодействия радиоволнового излучения с земной поверхностью и дополнительные картографические и литературные источники. Карта природно-территориальных комплексов острова приведена на рис. 6.

Методическое пособие по применению радиолокационных данных для географических исследований и картографирования. Опыт работы авторов с материалами космических радиолокационных съёмки обобщён в виде методического наглядного пособия (Трошко, 2015). Целесо-

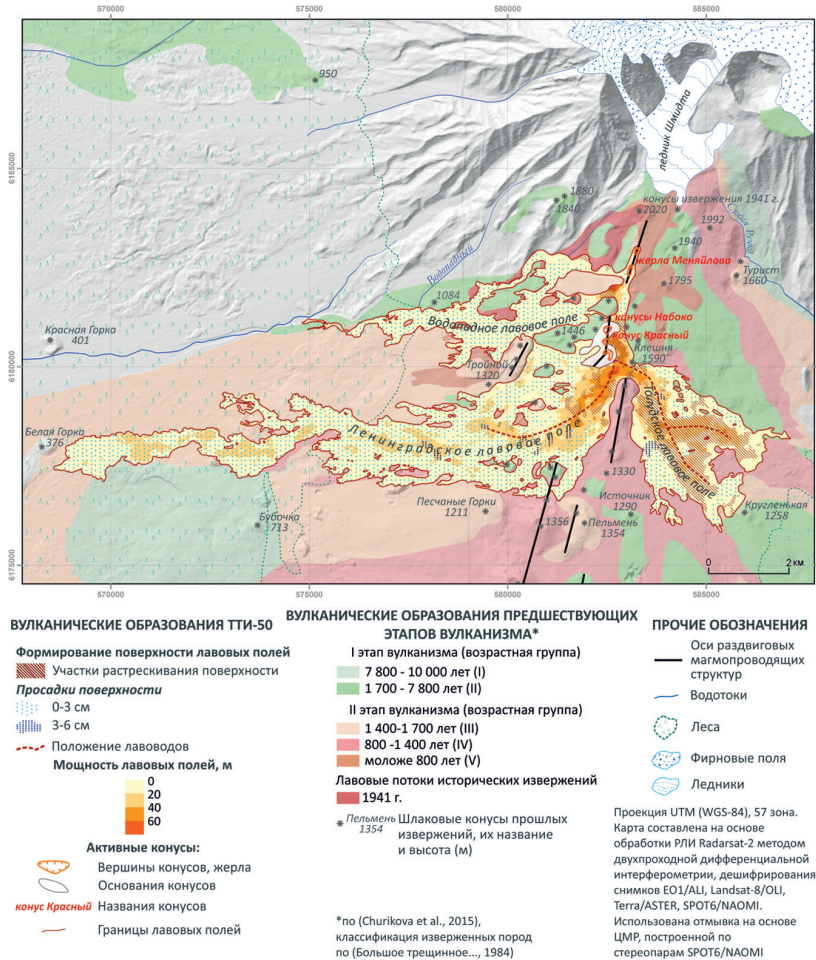


Рис. 5. Карта формирования поверхности лавового поля в результате Трещинного Толбачинского извержения имени 50-летия ИВиС (Толбачинский Дол), составленная по результатам интерферометрической обработки радиолокационных снимков

образность его создания с одной стороны обусловлена стремительным распространением новых общедоступных данных космического радиолокационного зондирования (Sentinel-1), с другой – слабым знакомством специалистов-географов с радиолокационной съёмкой и отсутствием материалов, доступно разъясняющих особенности радиолокационных данных и возможности их применения.

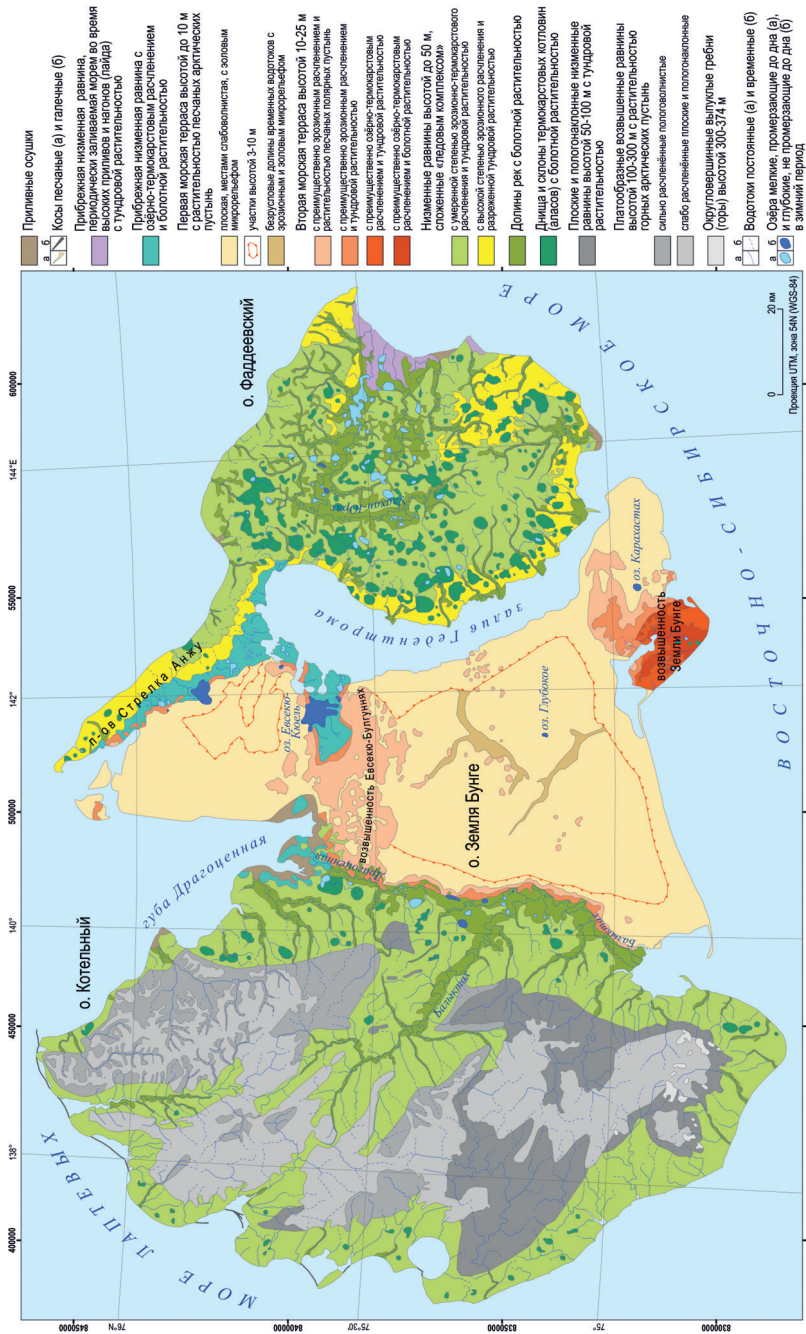


Рис. 6. Карта природно-территориальных комплексов о. Котельный

Разработанное пособие включает два раздела: теоретический «Основные понятия радиолокационной съёмки» и прикладной «Примеры практического применения радиолокационных данных». В первом выделены вопросы, относящиеся к технологическим особенностям радиолокационной съёмки, характеристикам местности, формирующим радиолокационные изображения и особенностям самих данных. Отдельная часть первого раздела посвящена предварительной обработке радиолокационных снимков, нацеленной на улучшение их изобразительных свойств, подготовку их для дешифрирования и картографирования. Первый раздел составлен преимущественно на основе литературных источников, текстовый материал в нём насыщен иллюстрациями, среди которых – специально разработанные схемы и подобранные пары снимков в оптическом и радиоволновом диапазонах, наиболее информативно демонстрирующие свойства последних.

Второй раздел пособия основан на экспериментах, проведённых авторами с использованием радиолокационных данных, полученных разными съёмочными системами, охватывающих различные регионы Земли и предназначенных для решения ряда тематических задач (сельского и лесного хозяйства, создания цифровых моделей рельефа и др.). В нём систематизированы подходы к преобразованию исходных радиолокационных данных, приведены схемы дешифрирования и составленные на их основе карты, а также снимки оптического диапазона и наземные видовые фотографии местности, призванные обеспечить правильное понимание и интерпретацию читателем радиолокационных снимков и результатов их использования.

Заключение

Радиолокационные данные, объём и качество которых быстро растут, при обработке специализированными методами предоставляют информацию, обеспечивающую создание тематических карт нового содержания. Так, в результате интерферометрической обработки можно получить не только количественные показатели динамики рельефа (например, смещения земной поверхности), но и качественные, характеризующие стабильность поверхности объекта в течение анализируемого периода.

Сложность восприятия исходных радиолокационных снимков обуславливает необходимость создания из них преобразованных изображений, пригодных для визуального и автоматизированного дешиф-

рирования. Отображение местности на радиолокационных снимках зависит от множества факторов, что обуславливает необходимость использования при их анализе снимков в оптическом диапазоне и опоры на детальные сведения о картографируемой местности. Появление и всё более широкое распространение общедоступных материалов радиолокационных съёмок Sentinel-1 способствует активному использованию этих данных в географических исследованиях и при создании карт.

Литература

- Балдина Е.А. Использование многовременных радиолокационных снимков со спутников ERS, ENVISAT для изучения сезонных и многолетних изменений в дельте Волги // Геоинформатика. 2005. № 2. С. 3–11.
- Захаров А.И., Ковалевский Н.П., Синило В.П. Особенности методов обработки радиолокационной космической информации // Космонавтика и ракетостроение. 2014. Т. 5. Вып. 78. С. 108–113.
- Кравцова В.И. Изучение изменений береговой зоны Калмыцкого побережья Каспия в связи с колебаниями уровня моря по радиолокационным снимкам со спутников ERS, ENVISAT // Геоинформатика/Geoinformatika. М.: ВНИИ-геосистем, 2006. № 1. С. 30–41.
- Мартыанов А.С., Балдина Е.А., Денисов П.В., Трошко К.А. Космический радиолокационный мониторинг для сельского хозяйства // Нелинейный мир. 2017. № 2. С. 42–44.
- Михайлюкова П.Г., Тутубалина О.В. Картографирование вулканических извержений на основе радиолокационной интерферометрии // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 153–163.
- Никольский Д.Б. Основные направления использования радиолокационных данных // Геоматика. 2008. № 1. С. 47–50.
- Трошко К.А. Применение радиолокационных данных в географических исследованиях и картографировании: разработка наглядного пособия // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2015. № 3. С. 72–79.
- Biggs J., Ebmeier S.K., Aspinall W.P., Lu Z., Pritchard M.E., Sparks R.S.J., Mather T.A. Global link between deformation and volcanic eruption quantified by satellite imagery // Nature Communications. 2014. № 5. doi:<http://doi.org/10.1038/ncomms4471>
- Dubois P.C., van Zyl J., Engman T. Measuring soil-moisture with imaging radars // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1995. V. 33. № 4. P. 915–926.
- Jezek K.C. Observing the Antarctic Ice Sheet using the RADARSAT-1 synthetic aperture radar // Polar Geography. 2003. V. 27. № 3. P. 197–209, doi: <http://dx.doi.org/10.1080/789610167>.

- Jezeek K.C., Sohn H.G., Noltmier K.F.* The RADARSAT Antarctic Mapping Project // Proc. of IGARSS'98. IEEE International, 1998. P. 2462–2464.
- Kucheryavenkova I.L., Zakharov A.I., Kravtsova V.I., Baldina E.A., Labutina I.A.* Observation of seasonal variations of the north Caspian coast vegetation covers based on ERS-2 SAR multitemporal data received in 1999 year // Abstracts of ERS–ENVISAT Symposium «Looking down to Earth in the New Millennium». 16–20 October, 2000. Gothenburg, Sweden. P. 1608–1615.
- Massonnet D., Briole P., Arnaud A.* Deflation of Mount Etna monitored by spaceborne radar interferometry // *Nature*. 1995. V. 375. P. 567–557. doi:10.1038/375567a0.
- Massonnet D., Feigl K.L.* Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface // *Reviews of Geophysics*. 1998. V. 36. № 4. P. 441–500.
- Ouchi K.* Recent trend and advance of synthetic aperture radar with selected topics // *Remote Sensing*. 2013. V. 5. № 2. P. 716–807.
- Santoro M., Schmillius C., Beer C., Cartus O., Eriksson L., Leiterer R., Reiche J., Thiel C., Thiel Ch.* Forest mapping of the northern hemisphere with spaceborne radar // Proc. of ESA Living Planet Symposium. Bergen, Norway, 28 June – 2 July 2010. P. 7.

E.A. Baldina, P.G. Mikhaylyukova, K.A. Troshko

POTENTIAL OF RADAR REMOTE SENSING FOR THEMATIC MAPPING

The satellite radar imagery of the Earth is not a new source of geographic information, however, despite the more than 30-year history of their acquisition and application, this type of data was not adopted so widely for maps creation as images in the optical range. The reasons are a limited availability of radar images and complexity of their visual interpretation and processing. The results of several projects based on radar data use implemented in the Aerospace methods laboratory over the past few years, are presented. Using the satellite radar data of the Radarsat-2 and Sentinel-1 satellites, some investigations were conducted, which are, the evaluation of agricultural lands in the Volga delta state and changes; dynamics of the relief of the volcanic area due to eruption (Tolbachinsky Dol, Kamchatka); current state of natural territorial complexes of the Arctic island Kotelny (New Siberian Islands). The methods of the thematic interpretation of radar data and maps creation differed depending on the research task, characteristics of the data and the territory features. The main results of the work are the maps created on the basis of radar data processing.

М.Ю. Грищенко, Е.А. Балдина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ СНИМКОВ В ТЕПЛОВОМ ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ КАРТ

Введение

Дистанционное зондирование земной поверхности в тепловом инфракрасном диапазоне проводится уже более 50 лет. При тепловой съёмке фиксируется собственное излучение поверхности Земли, в отличие от съёмки в оптическом диапазоне, регистрирующих отражённое солнечное излучение. Использование данных, полученных в тепловом инфракрасном диапазоне, менее распространено в науках о Земле, чем применение снимков в видимом диапазоне, однако на практике данные тепловых съёмки оказываются существенным дополнением к другим данным дистанционного зондирования. Использование тепловых снимков как самостоятельного источника данных для создания тематических карт или формирования их содержания актуально в связи с совершенствованием средств дистанционного зондирования в тепловом инфракрасном диапазоне, а также повышением интереса к проблемам, связанным с тепловым балансом Земли и изменениями климата. Предоставляемая тепловыми данными возможность регистрировать различия и изменения в интенсивности излучения даёт дополнительные преимущества, расширяя представления о местности, а также новые знания о территории, которые могут использоваться при создании карт нового содержания.

Области применения тепловых снимков при географических исследованиях

Особое значение данных теплового диапазона обусловлено возможностью получения непрерывного температурного поля местности, обеспечивающего значение температуры поверхности в каждой точке местности, покрытой снимком, в то время как традиционные

определения температуры доступны только на основе редко расположенных метеостанций (Dozier, 1981; Price, 1981). Вопросам извлечения температуры поверхности моря и суши из данных тепловой съёмки посвящена обширная литература, однако эта проблема остаётся актуальной в первую очередь в связи с развитием средств получения излучательных характеристик поверхности, стремлением исследователей повысить точность определения температуры как важнейшего параметра климатических моделей.

Одной из наиболее актуальных областей применения тепловых космических снимков служит исследование пространственных и температурных характеристик городских островов тепла. Феномен городского острова тепла был выявлен впервые в начале XIX в. на основе сети метеостанций, расположенных в окрестностях города (Oke, 1982), а острова тепла, формируемые крупными городами, были обнаружены на космических снимках в тепловом диапазоне уже при пространственном разрешении 1–1,5 км (например, Roth et al., 1989). Повышенные температуры в черте города обусловлены различными видами антропогенной деятельности, характером застройки и использованием материалов с высокой теплоотдачей, что оказывает существенное влияние на условия жизни городского населения, особенно в городах тропической и субтропической зон (Weng, 2009). Многочисленными исследованиями по материалам тепловой съёмки со спутников Landsat установлено, что на повышение температуры в городах оказывает влияние характер использования земель, плотность городской застройки, мощность и распределение растительного покрова (Aniello et al., 1995; Voogt, Oke, 2003; Claus, Mushtaq, 2011 и др.).

Выявлен эффект теплового загрязнения от крупных полигонов захоронения бытовых отходов (Черепанова и др., 2014). На примере больших городов в Китае установлена связь повышения температуры городской среды с загрязнением атмосферы (Weng, Yang, 2006). По разновременным тепловым снимкам со спутников Landsat прослеживается как пространственный рост городов, так и уплотнение застройки, которые особенно выражены в городах Юго-Восточной Азии (Roth et al., 1989; Hasti et al., 2013), Индии (Rose, Devadas, 2009), но отмечены и в городах умеренных широт (Горный и др., 2016; Walawender et al., 2014). При использовании тепловых снимков, полученных в разные сезоны года, установлено, что различным зонам города свойственен определённый ход изменения температуры поверхности (Suga et

al., 2003; Балдина, Грищенко, 2014), что обеспечивает возможность выявления устойчивых положительных аномалий в городской черте, обусловленных антропогенной деятельностью.

Другой областью активного применения тепловых снимков является мониторинг вулканических областей, где также накоплен обширный опыт. Наиболее часто в вулканологических исследованиях применяются данные съёмочных систем ASTER и MODIS спутника Terra, TM, ETM+ и TIRS – спутников Landsat 4, 5, 7, 8 (Murphy et al., 2013). Работы ведутся в активных шовных зонах в Америке (Гавайи, Анды), Европе, Исландии, на Сицилии, в Японии, Индонезии и др. В меньшей степени охвачены вулканические районы России, хотя научно-методическое обоснование использования тепловой аэросъёмки хорошо разработано (Шилин, 1980). При особом значении, которое имеют дистанционные данные в этой области, специалисты ожидают наибольших успехов в результате совместного использования тепловых космических данных с наземными, разработка новых технологий обработки и применения данных (Ramsey, Harris, 2013).

Развиваются исследования тепловых и излучательных свойств растительного покрова и природных ландшафтов. Так, например, по снимкам сенсора ETM+/Landsat оценено влияние разработок месторождений золота на состояние таёжных ландшафтов Средней Сибири, где тепловой канал помогает выявлять заброшенные участки разработок (Харук и др., 2001), показана возможность дифференциации сукцессионных стадий при восстановлении лесов (Southworth, 2004), установлено, что тепловое излучение служит индикатором состояния растительного покрова (Hansen et al., 2002). Тепловые снимки применяются для изучения структурно-функциональной организации ландшафта, для изучения радиационного баланса ландшафтных единиц разных иерархических уровней (Quattrochi, Luvall, 1999; Хорошев и др., 2006; Козлов и др., 2008). Выполненный краткий обзор показывает разнообразие областей применения тепловых снимков для исследовательских целей.

Методы исследований

Среди методических разработок авторов, выполненных на основе дешифрирования тепловых космических снимков, можно выделить три основных направления: 1) дешифрирование тепловых анома-

лий по одиночным тепловым снимкам и последующий анализ этих тепловых аномалий и их связи с объектами земной поверхности и различными процессами; 2) дешифрирование многовременных разносезонных тепловых космических снимков, которое по характеру сезонной изменчивости интенсивности излучения позволяет выявить тепловую структуру изучаемой территории, наиболее полно отражающую пространственно-временную дифференциацию её теплового поля; 3) расчёт по тепловым космическим снимкам количественных показателей, в частности, значений температуры земной поверхности, и последующий анализ дифференциации этих показателей, а также установление их связи со значениями, полученными в ходе прямых наземных измерений. Все указанные методы взаимно дополняют друг друга, и нередко могут быть использованы совместно.

Дешифрирование тепловых аномалий по одиночным тепловым космическим снимкам. На основании анализа тепловых космических снимков, проведённых экспериментов и результатов сопоставления снимков с данными полевых обследований, картографическими и аэрокосмическими источниками, а также научной литературы установлено, что распределение интенсивности теплового излучения на некоторой территории зависит, помимо интенсивности прямого солнечного излучения, от следующих факторов:

- влажности грунтов: вода характеризуется высокой теплоёмкостью, поэтому водные объекты и объекты повышенной влажности сравнительно медленно реагируют на изменения интенсивности прямого солнечного излучения;
- обилия растительности (мощности растительного покрова): как и водные объекты, растительность хорошо дешифрируется на тепловых космических снимках, особенно в период активной вегетации, когда она накапливает влагу и транспирирует, теряя тепло;
- рельефа и экспозиции склонов: распределение интенсивности прямого солнечного излучения сильно зависит от экспозиции склонов, склоны северной экспозиции получают меньше радиации, чем южные;
- собственного излучения Земли в областях проявления современного вулканизма, а также неравномерности интенсивности теплового излучения, связанной с тектоническими структурами;
- наличия антропогенных объектов низкой теплоёмкости, способных очень интенсивно накапливать солнечную энергию и очень интенсивно излучать;

- теплового загрязнения (выделения антропогенного тепла): тепло вырабатывается во время производственного процесса во многих отраслях промышленности и коммунального хозяйства; это влияет на повышение интенсивности теплового излучения заводских корпусов, прилегающих территорий, теплотрасс, а также водных объектов, куда сбрасываются промышленные воды.

Тепловой аномалией назовём отклонение от среднестатистического значения интенсивности теплового излучения на тепловом снимке, приуроченное к некоторому участку земной поверхности. Положительной тепловой аномалией предлагаем называть отклонение интенсивности теплового излучения в сторону его увеличения, а отрицательной – в сторону его уменьшения. Повышенная или пониженная интенсивность теплового излучения, характерная для некоторых объектов, говорит о наличии у них свойств, резко отличающих их от других объектов территории. В большинстве случаев на тепловых снимках максимальную площадь занимают объекты, характеризующиеся фоновыми (среднестатистическими) или близкими к ним значениями яркости.

Если говорить о природных объектах, то здесь выраженные положительные тепловые аномалии могут быть сформированы следующими объектами, процессами и явлениями: 1) лишёнными растительности участками среди сплошного растительного покрова. Такие участки могут быть связаны как с естественными объектами и процессами (выходы скальных пород, крутые склоны, особенности подстилающих пород, поствулканическая активность и др.), так и с антропогенными (вырубки, гари и др.); 2) проявлениями вулканической и поствулканической активности, с которыми всегда связано выделение большого количества тепла; 3) водными объектами, подверженными интенсивному тепловому загрязнению.

Если же речь идёт об антропогенных объектах, то здесь причин формирования таких тепловых аномалий может быть гораздо больше. Среди них: 1) разработка месторождений полезных ископаемых открытым способом, в ходе которой уничтожается растительный покров и происходит обнажение грунтов с низкой теплоёмкостью, интенсивно нагреваемых под действием прямого солнечного излучения и интенсивно излучающих; 2) промышленные объекты, для которых характерно производство с выделением большого количества тепла, например, теплоэлектроцентрали, металлургические комбина-

ты, химические комбинаты; 3) крупные здания, нагреваемые прямым солнечным излучением и интенсивно излучающие.

Отрицательные тепловые аномалии, как правило, связаны с водными объектами и массивами древесной растительности, а также, в отдельных случаях, с понижениями в рельефе.

Критерии выбора тепловых снимков для дешифрирования тепловых аномалий зависят от целей исследования. Тепловые аномалии разного генезиса могут быть дешифрированы по тепловым снимкам, полученным в разные сезоны года. Так, например, тепловые аномалии, связанные с проявлениями поствулканической активности, лучше всего дешифрируются на снимках, полученных зимой и ранней весной. Зимой приток прямой солнечной радиации меньше, чем летом, что определяет меньшее её влияние на пространственную дифференциацию теплового поля; весной, за счёт таяния снега, несколько увеличивается дебит термальных источников, приуроченных к проявлениям поствулканической активности.

Тепловые аномалии можно дешифрировать как по необработанным снимкам (т.е. работать с "сырыми" значениями яркости) – в случаях, если важен сам факт обнаружения тепловой аномалии – так и после расчёта значений температуры земной поверхности или спектральной плотности излучения, если для исследования важны точные количественные характеристики тепловых аномалий.

Тепловые аномалии могут быть выделены как визуально, так и на основании квантования тепловых снимков. При квантовании к положительным тепловым аномалиям принято относить значения, расположенные на гистограмме снимка правее двух стандартных отклонений, к отрицательным – значения, расположенные левее двух стандартных отклонений.

Как правило, выделение тепловых аномалий является промежуточным этапом в работах, посвящённых картографированию природных и антропогенных территорий. Так, при картографировании проявлений поствулканической и вулканической активности выделение тепловых аномалий, к которым приурочены эти объекты, является первым этапом составления карт. При оценке антропогенной нагрузки на геосистемы выделение тепловых аномалий необходимо для определения предполагаемых источников антропогенной нагрузки. При наложении тепловых аномалий, выделенных в разные сезоны, мы можем получить классификацию тепловых аномалий по интенсивности и устойчивости.

Дешифрирование тепловой структуры по разносезонным многовременным тепловым космическим снимкам. Тепловое поле любой местности характеризуется высокой пространственно-временной изменчивостью. Очевидно, что при необходимости проанализировать не отдельные объекты рассматриваемой территории, а всю её в целом, наиболее информативным источником данных о пространственно-временной дифференциации теплового поля будут многовременные космические снимки.

Анализ изменений теплового поля местности по тепловым космическим снимкам позволил выделить наиболее репрезентативный для дешифрирования природных и антропогенных территорий вид изменчивости. Многолетние изменения, как правило, однонаправлены, они могут быть связаны с антропогенным воздействием, влиянием стихийных природных сил и т.п., либо их цикличность проявляется только на весьма значительном промежутке времени. Ход сезонной и суточной изменчивости близок к цикличному и определяется, в первую очередь, неравномерностью нагрева объектов земной поверхности прямым солнечным излучением в течение года и суток. Анализ разновременных тепловых снимков показал, что амплитуды интенсивности теплового излучения объектов земной поверхности в суточном ходе существенно меньше, чем в сезонном. В связи с выявленной сезонной изменчивостью теплового поля природных и антропогенных территорий для их исследования и картографирования предложено использовать разносезонные снимки.

Под тепловой структурой понимается полученное по результатам обработки многовременного разносезонного теплового снимка пространственное распределение участков со схожим характером сезонной изменчивости теплового излучения.

Методика дешифрирования многовременных тепловых космических снимков с целью выявления тепловой структуры территории включает следующие этапы.

Первый этап – поиск и отбор разносезонных снимков. Важно обеспечить как можно более полное отражение набором тепловых космических снимков сезонных изменений изучаемой местности. Количество разносезонных снимков и их распределение по сезонам зависит от географических характеристик исследуемой территории.

Второй этап – формирование многовременного снимка. Для этого предварительно взаимно скоординированные разносезонные снимки располагаются в порядке смены сезонов без учёта года съёмки (на основе предположения о том, что многолетние изменения менее значитель-

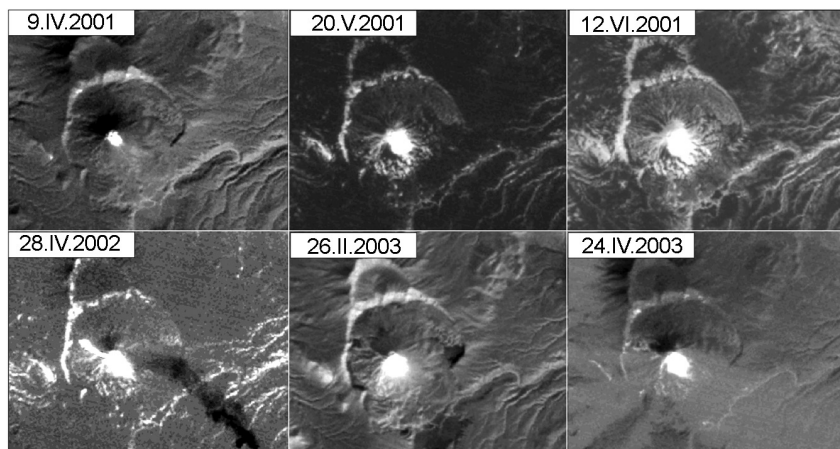
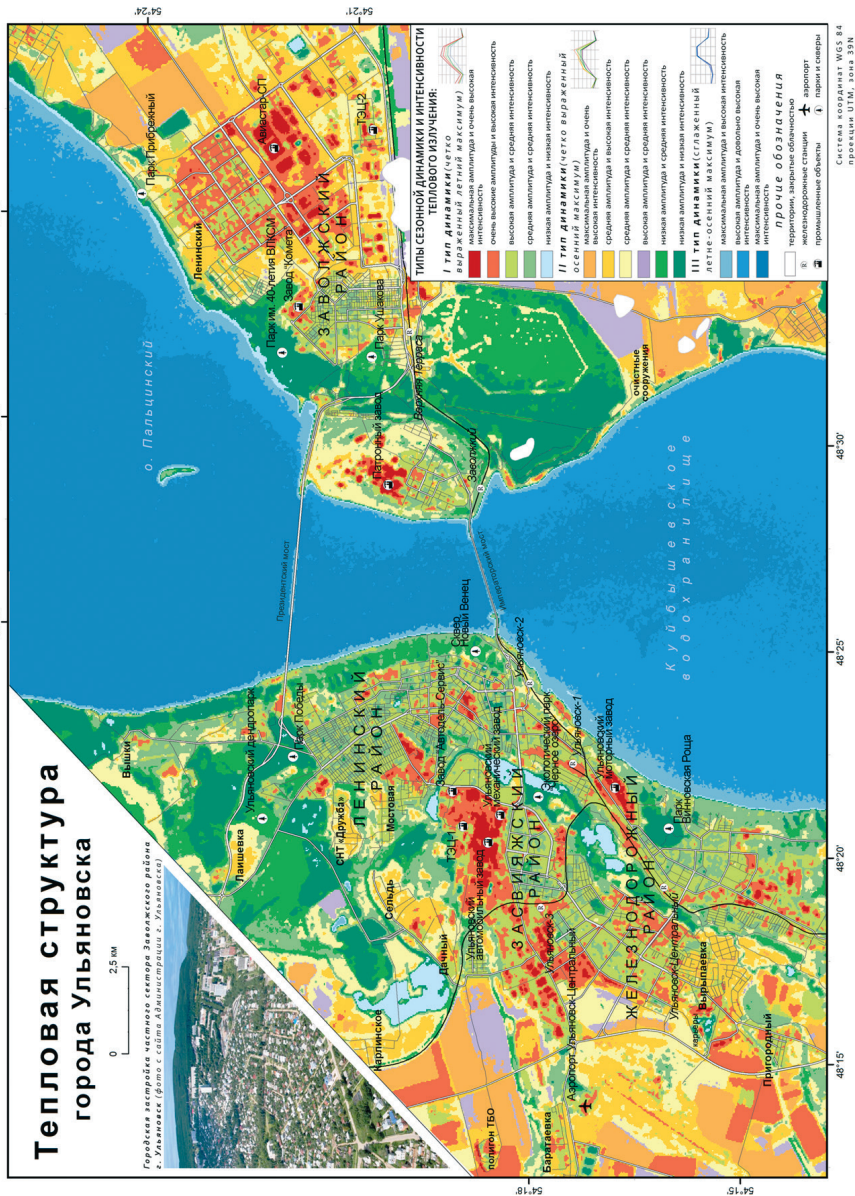


Рис. 1. Вулкан Карымский. Фрагменты снимков со спутника Landsat 7 в тепловом инфракрасном диапазоне

ны, чем сезонные). Тем не менее, исследуемую территорию необходимо проверить на предмет значительных многолетних изменений и при их обнаружении исключить подвергшиеся изменениям участки, а также снимки аномальных лет, из дальнейшего анализа. Далее из снимков формируется «многослойный» файл в одном из растровых форматов, поддерживающих такую функцию (например, GeoTIFF или LAN).

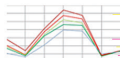
На третьем этапе проводится кластеризация многовременного разносезонного снимка с разделением на разное число кластеров. Задаётся логически обоснованное число кластеров (например, при картографировании растительного покрова в горной местности, для которой характерно пять основных типов растительности, следует проводить кластеризацию на 5–8 кластеров). Чем большее количество кластеров мы будем задавать, тем более низкого иерархического уровня геосистемы будут выделены.

Четвёртый этап – выбор из нескольких вариантов кластеризации одного оптимального с привлечением дополнительных источников информации о местности. Максимально возможным числом кластеров при обработке многовременного теплового снимка служит такое, на котором все кластеры могут быть соотнесены с геосистемами, а при большем количестве кластеров такое соотношение установить невозможно. Определение оптимального числа кластеров зависит от особенностей местности и задачи исследования, поэтому при составлении карт тепловой структуры необходимы доступные топографические и



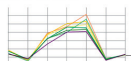
ТИПЫ СЕЗОННОЙ ДИНАМИКИ И ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ:

I тип динамики (четко выраженный летний максимум)



- максимальная амплитуда и очень высокая интенсивность
- очень высокие амплитуды и высокая интенсивность
- высокая амплитуда и средняя интенсивность
- средняя амплитуда и средняя интенсивность
- низкая амплитуда и низкая интенсивность

II тип динамики (четко выраженный осенний максимум)



- максимальная амплитуда и очень высокая интенсивность
- средняя амплитуда и высокая интенсивность
- средняя амплитуда и средняя интенсивность
- высокая амплитуда и средняя интенсивность
- низкая амплитуда и средняя интенсивность
- низкая амплитуда и низкая интенсивность

III тип динамики (сглаженный летне-осенний максимум)



- максимальная амплитуда и высокая интенсивность
- высокая амплитуда и довольно высокая интенсивность
- максимальная амплитуда и очень высокая интенсивность

прочие обозначения

- территории, закрытые облачностью
- R железнодорожные станции
- ✈ аэропорт
- ⤴ промышленные объекты
- ⤴ парки и скверы

Рис. 2. Карта тепловой структуры Ульяновска (а) и легенда к ней (б)

тематические карты, космические снимки в других спектральных диапазонах и более высокого пространственного разрешения, текстовые описания, результаты полевых обследований и др.

Пятый этап – построение графиков временных образов (по аналогии со спектральными образами) выделенных кластеров, соответствующих элементам тепловой структуры, и их классификация.

Расчёт значений температуры земной поверхности по тепловым космическим снимкам. Если мы анализируем исходные, так называемые «сырые» значения яркости тепловых космических снимков, в большинстве случаев мы ограничиваемся только качественной относительной оценкой картографируемых явлений. При необходимости количественных оценок или сравнения данных, получаемых по разным тепловым снимкам, целесообразно рассчитать по ним значе-

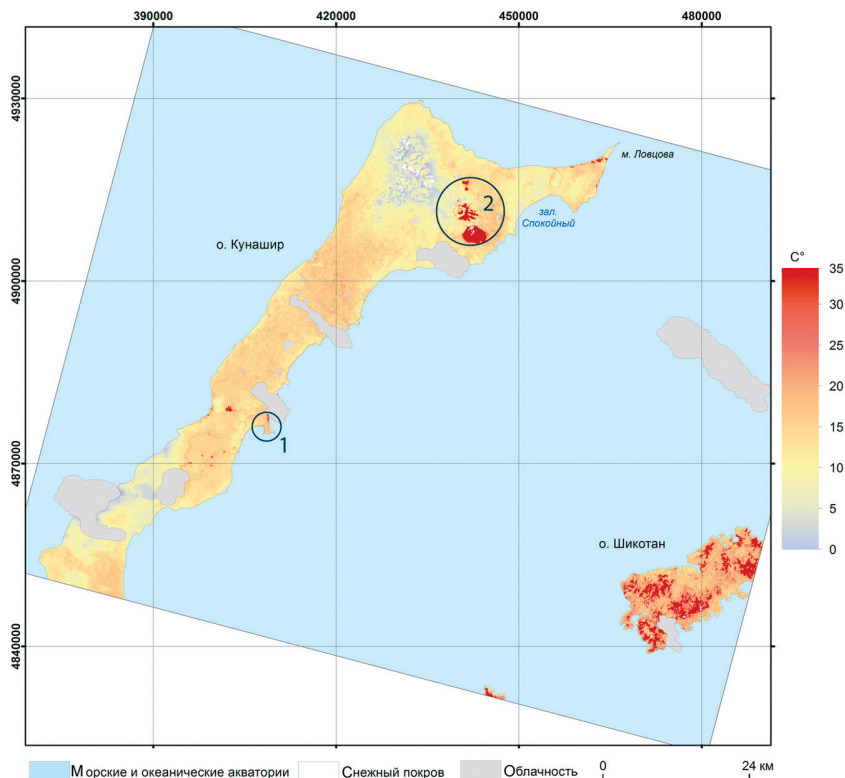


Рис. 3. Результат расчёта температуры земной поверхности территории Южных Курил на 2 июня 2014 г. Цифрами обозначены: 1 – пос. Южно-Курильск; 2 – вулкан Тятя, кратер Отважный, маары Владовца и Радкевич

ния температуры земной поверхности. Наиболее эффективным способом получения по тепловым космическим снимкам значений этой температуры служит использование алгоритма расщеплённого окна прозрачности, предполагающего использование данных нескольких каналов в тепловом диапазоне для определения необходимых параметров атмосферы. Более простой и распространённый алгоритм – «одноканальный», который предполагает расчёт температуры земной поверхности по тепловому снимку в одном спектральном канале.

Для снимков со спутников серии Landsat алгоритм расчёта значений температуры земной поверхности описан разработчиками (Landsat 8..., 2015), его реализация предполагает использование калибровочных констант из метаданных, поставляемые вместе со снимком. Для наиболее

строгих расчётов необходима атмосферная коррекция – достаточно сложная процедура, успешность которой зависит от наличия сведений о состоянии атмосферы или используемой её модели. Для активизации использования данных тепловой съёмки на сайте NASA представлен калькулятор параметров атмосферной коррекции, который позволяет учесть состояние атмосферы, в зависимости от сезона (зима или лето), а также географического положения исследуемой местности.

Полученные значения температуры земной поверхности, вообще говоря, не являются окончательным этапом исследований. Описанная выше методика определяет подготовку температурных данных для последующего анализа. В частности, значения температуры земной поверхности могут быть сопоставлены с другими количественными показателями, например, со значениями нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI). Между значениями температуры земной поверхности, рассчитанными по тепловым космическим снимкам, и значениями NDVI, при прочих равных условиях, наблюдается чётко выраженная обратная корреляция. Результаты совместных исследований пространственной дифференциации значений температуры земной поверхности и индекса NDVI могут быть использованы для оценки антропогенной нагрузки; результаты сопоставления рассчитанных и измеренных значений температуры – для районирования территорий по климатическим показателям.

Результаты исследований

Выявление тепловых аномалий по одиночным тепловым космическим снимкам хорошо иллюстрирует дешифрирование проявлений вулканической и поствулканической активности, связанных с выделением большого количества внутреннего тепла Земли. Так, извержение вулкана Карымский (юго-восток полуострова Камчатка) нашло отражение на космических снимках в тепловом диапазоне (рис. 1). На этих снимках в вершинном кратере вулкана наблюдается тепловая аномалия, связанная с вулканической деятельностью.

На основе анализа тепловых космических снимков можно установить, что тепловая аномалия наблюдалась в вершинном кратере вулкана на протяжении всего извержения, а 28 апреля 2002 г. из вершинного кратера вулкана излился лавовый поток длиной более 1 км и шириной около 300 м. Анализ тепловых космических снимков других вулканических извержений

позволяет сделать вывод, что эффузивные извержения, в процессе которых происходят излияния жидкой лавы, лучше дешифрируются по тепловым снимкам, нежели эксплозивные извержения, для которых характерно преобладание крупных газово-взрывных процессов с выбросом большого количества твёрдых продуктов извержения почти без излияния лав.

Для территорий, где типична облачная погода, например, о. Парамушир (Северные Курильские острова), использование космических снимков может быть затруднительным, так как наличие облачности на снимках практически исключает возможность количественных оценок извержений, в частности, расчёта значений температуры земной поверхности. Однако установить факт наличия крупных извержений и провести их качественную оценку (что особенно актуально для таких относительно труднодоступных районов, как о. Парамушир) можно и по снимкам, на которых отобразилась облачность нижнего яруса, поскольку эруптивные облака поднимаются выше неё. Так, в феврале 2015 г. произошло извержение вулкана Чикурачки, но безоблачные снимки на этот период отсутствуют. Однако анализ тепловых космических снимков этого вулкана позволяет выявить тепловую аномалию в вершинном кратере, несмотря на облачность.

Карты тепловой структуры, составленные на основе многовременных разносезонных тепловых космических снимков. Результат обработки многовременных разносезонных тепловых космических снимков при исследовании городского острова тепла проиллюстрируем на примере карты тепловой структуры Ульяновска (рис. 2). Эта карта составлена по результатам дешифрирования многовременного теплового снимка, составленного из семи разносезонных снимков съёмочной системы ЕТМ+, полученных в 1999–2002 гг. В качестве дополнительных источников информации использована карта города (генеральный план Ульяновска) и космические снимки в других спектральных диапазонах.

Легенда карты (см. рис. 2, а) построена по типологическому принципу. Главную информацию передают выделенные в легенде типы сезонной изменчивости интенсивности теплового излучения городской территории. Обозначение местоположения важных с точки зрения дифференциации теплового поля городских объектов представляет собой дополнительную информацию.

Все типы сезонной изменчивости интенсивности теплового излучения разделены на три категории (чётко выраженный летний максимум, чётко выраженный осенний максимум, сглаженный летне-осенний максимум); для упрощения чтения легенды они обозначены номерами (I, II,

III типы динамики соответственно). Для каждого типа приведены графики временных образов выделенных элементов тепловой структуры, которые наглядно демонстрируют изменчивость интенсивности теплового излучения территории. В пределах каждого типа изменчивости интенсивности теплового излучения выделены виды территорий, различающиеся по амплитуде и интенсивности теплового излучения. Эти участки в легенде и на карте различаются по цвету. Красно-оранжевые цвета обозначают территории, характеризующиеся наиболее высокой интенсивностью теплового излучения, зелёно-синие – территории, имеющие низкую интенсивность теплового излучения.

В последнем разделе легенды приведены дополнительные обозначения, помогающие соотнести главную тематическую информацию с объектами местности. На карту нанесена дорожно-транспортная сеть города (она позволяет оценить дифференциацию характера застройки города), отмечены наиболее крупные промышленные предприятия, железнодорожные станции, крупные парки и скверы.

Результаты расчёта температуры земной поверхности по тепловым космическим снимкам и их анализ. Результаты расчёта температуры земной поверхности рассмотрим на примере территории Южно-Курильского района Сахалинской области (о. Кунашир и Малая Курильская гряда). Эта территория характеризуется ярко выраженной неоднородностью температуры земной поверхности, что связано с широким разнообразием местных ландшафтов: крупные массивы хвойных, смешанных и широколиственных лесов; луга; заросли стланика и бамбука; крупный населённый пункт (пос. Южно-Курильск); сольфатарные поля; участки, лишённые растительного покрова и т.д.

Результат расчёта значений температуры земной поверхности по раннелетнему снимку иллюстрирует различия в температуре земной поверхности островов Кунашир и Шикотан (рис. 3). Поверхность о. Шикотан характеризуется температурой $+18 \dots +24$ °С, при том что для Кунашира в среднем характерны значения $+12 \dots +16$ °С. Причиной этому – различия в растительном покрове двух островов: на Кунашире распространены леса, в то время как для Шикотана характерно широкое распространение луговых и подобных им сообществ. В начале лета активная вегетация луговых сообществ ещё не началась, и они не оказывают существенного охлаждающего влияния.

При анализе полей температуры земной поверхности, рассчитанных за другие даты, выявлены следующие закономерности. Хорошо

различим остров тепла, связанный с пос. Южно-Курильск. Для посёлка характерны объекты, которые интенсивно поглощают солнечную радиацию и излучают тепло: асфальтированные дороги, здания и т.д. Так, рассчитанная по снимку за 19 сентября 2013 г. температура земной поверхности в Южно-Курильске варьирует от +24 до +27 °С, а температура окружающих территорий составляет +20 °С и ниже.

Чётко выделяются участки, покрытые продуктами недавнего вулканического извержения, произошедшего на севере о. Кунашир в 1973 г. Кратер Отважный, маары (небольшие побочные кратеры без конуса) Радкевич и Владовца, так же как и пепловые поля вокруг них, покрыты тёмным вулканическим пеплом, в связи с чем они нагреваются значительно сильнее окружающих территорий. Например, рассчитанная по снимку за 2 июня 2014 г. температура на таких участках достигает +30 ... +35 °С, в то время как на окружающей территории она составляет +14 ... +18 °С.

На Кунашире расположен вулкан Головнина, к которому приурочены два вулканических озера – Кипящее и Горячее. Оз. Кипящее занимает кратерное понижение, на его дне располагаются подводные газогидротермы, вследствие чего оно круглый год характеризуется высокими значениями температуры (около +30 °С). Оз. Горячее занимает днище кальдеры, оно подпитывается как газогидротермами, так и пресными подземными источниками, поэтому температура воды в нём летом, в основном, не превышает 25 °С. Рассчитанные по снимку за 19 сентября 2013 г. значения температуры акватории оз. Кипящее составляют +25 ... +31 °С, а оз. Горячее – +19 °С.

Заключение

Представленные методы и результаты подтверждают эффективность использования тепловых космических снимков для количественных и качественных оценок состояния местности, для дешифрирования природных и антропогенных объектов, явлений и процессов. Они обеспечивают восстановление по тепловым космическим снимкам значений температуры поверхности, на основе которых можно проводить количественное сопоставление участков местности, выявлять температурные аномалии различного происхождения, что, прежде всего, представляет интерес для изучения вулканических районов, обнаружения теплового загрязнения водоёмов, оценки интенсивности городского острова тепла, изучения его

структуры и др. Не менее важна работа с данными теплового диапазона на качественном уровне, особенно при использовании многовременных тепловых снимков, в частности, сезонных. По аналогии со спектральным образом, временной образ может быть дешифровочным признаком географических объектов, явлений и процессов, что позволяет картографировать их дифференциацию, проявляющуюся в различиях в их сезонной изменчивости интенсивности теплового излучения. Такой подход обеспечивает создание карт нового содержания – тепловой структуры местности, которые наглядно представляют пространственные особенности городских островов тепла, распространения проявлений вулканической и поствулканической активности и др.

Работы проводились при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты 14-05-31384 мол_а, 13-05-41233 РГО_а, 13-05-00904 А, 13-05-12047 офи_м), а также гранта Президента РФ (проект НШ-2248.2014.5).

Литература

- Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Методика дешифрирования разновременных космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2014. № 3. С. 35–42.
- Горный В.И., Лялько В.И., Крицук С.Г., Латыпов И.Ш., Тронин А.А. Филиппович В.Е., Станкевич С.А., Бровкина О.В., Киселев А.В., Давидан Т.А., Лубский Н.С., Крылова А.Б. Прогноз тепловой реакции городской среды Санкт-Петербурга и Киева на изменение климата (по материалам съемок спутниками EOS и Landsat) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 2. С. 176–191.
- Козлов Д.Н., Пузаченко М.Ю., Федяева М.В., Пузаченко Ю.Г. Отображение пространственного варьирования свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной информации и цифровой модели рельефа // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 4. С. 112–124.
- Харук В.И., Рансон К.Дж., Им С.Т., Федотова Е.В. Оценка влияний разработок месторождений золота на состояние таёжных территорий Средней Сибири по данным ИСЗ Landsat-7 // Исследования Земли из космоса. 2001. № 6. С. 68–81.
- Хорошев А.В., Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н. Современное состояние ландшафтной экологии // Изв. РАН. Сер. геогр. 2006. № 5. С. 12–21.
- Черепанова Е.В., Карачевцева И.П., Гречищев А.В. Геоинформационное картографирование потенциально опасных источников антропогенного загрязнения по данным тепловой инфракрасной съемки Landsat ETM+ // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 3. С. 70–76.

- Шилин Б.В. Тепловая аэросъёмка при изучении природных ресурсов. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 280 с.
- Amirtham L.R., Devadas M.D. Analysis of land surface temperature and land use / land cover types using remote sensing imagery – a case in Chennai-city, India // ICUC the 7th Intern. Conf. on Urban Climate, 29 June – 3 July 2009, Yokohama, Japan. Available at http://www.ide.titech.ac.jp/~icuc7/extended_abstracts/index-web.html. 8th November 2017.
- Aniello C., Morgan K., Busbey A., Newland L. Mapping micro urban heat islands using Landsat TM and a GIS // Comparative Geoscience. 1995. V. 21. P. 965–969.
- Claus R., Mushtaq H. Toronto's urban heat island – exploring the relationship between land use and surface temperature // Remote Sensing. 2011. V. 3. P. 1251–1265.
- Dozier J. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution // Remote Sensing of Environment. 1981. V. 11. P. 221–229.
- Hasti W., Kazuyoshi S., Tadashi S., Ishidaira H., Ichikawa Y., Kobayashi H., Inagaki I. Air Temperature estimation from satellite remote sensing to detect the effect of urbanization in Jakarta, Indonesia // Journ. of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences. 2013. V. 4. № 6. P. 800–805.
- Hansen M.C., DeFries R.S., Townshend J.R.G., Sohlberg R., Dimiceli C., Carroll M. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: examples using AVHRR and MODIS data // Remote Sensing of Environment. 2002. V. 83. P. 303–319.
- Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Version 1.0. June 2015. Sioux Falls, South Dakota: EROS, 2015. 106 p.
- Murphy S.W., Wright R., Oppenheimer C., Souza Filho C.R. MODIS and ASTER synergy for characterizing thermal volcanic activity // Remote Sensing of Environment. 2013. V. 131. P. 195–205.
- Oke T.R. The energetic basis of the urban heat island // Quarterly Journ. of Royal Meteorology Society. 1982. V. 108. P. 1–24.
- Price J.C. The contribution of thermal data in Landsat multispectral classification // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1981. V. 47. P. 229–236.
- Quattrochi D.A., Luvalle J.C. Thermal infrared remote sensing for analysis of landscape ecological processes: methods and applications // Landscape Ecology. 1999. V. 14. P. 577–598.
- Ramsey M.S., Harris A.J.L. Volcanology 2020: How will thermal remote sensing of volcanic surface activity evolve over the next decade? // Journ. of Volcanology and Geothermal Research. 2013. V. 249. P. 217–233.
- Roth M., Oke T.R., Emery W.J. Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology // Intern. Journ. of Remote Sensing. 1989. V. 10. P. 1699–1720.
- Southworth J. An assessment of Landsat TM band 6 thermal data for analyzing land cover in tropical dry forest regions // Intern. Journ. of Remote Sensing. 2004. V. 25. № 4. P. 689–706.
- Suga Y., Ogawa H., Ohno K., Yamada K. Detection of surface temperature from LANDSAT-7/ETM+ // Advances in Space Research. 2003. V. 32. № 11. P. 2235–2240.

- Voogt J.A., Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climates // *Remote Sensing of Environment*. 2003. V. 86. P. 370–384.
- Walawender J., Szymanowski M., Hajto M., Bokwa A. Land surface temperature patterns in the urban agglomeration of Krakow (Poland) derived from Landsat-7/ETM+ data // *Pure and Applied Geophysics*. 2014. V. 171. P. 913–940.
- Weng Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends // *ISPRS Journ. of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2009. V. 64. P. 335–344.
- Weng Q., Yang S. Urban air pollution patterns, land use, and thermal landscape: an examination of the linkage using GIS // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2006. V. 117. P. 463–489.

M. Yu. Grischenko, E.A. Baldina

STUDYING THE POSSIBILITIES OF THERMAL SPACE IMAGERY APPLICATION FOR THEMATIC MAPPING

The results of research on thermal infrared images information properties, mainly from the Landsat series, are presented. The experimental works on the use of images in the thermal range for the creation of maps can be divided in three groups: single images interpretation aiming in reveal thermal anomalies and their correspondence with Earth surface objects, processes and phenomena; automated interpretation of multitemporal images of different seasons which provides division of the studied area by parcels of different seasonal dynamics of thermal radiation; revealing quantitative characteristics of the Earth surface, specially the land surface temperature values calculation and subsequent comparison of them with field measurements data. The paper demonstrates the possibility of the new content maps creating basing on information comprised in thermal images. The research focuses on the requisite areas of thermal imagery applications, i.e. the mapping of the urban heat islands thermal structure, the revealing of thermal anomalies associated with the volcanic and post-volcanic activity. The main results of the work are maps created on the basis of thermal satellite images processing.

О.В. Тутубалина, М.В. Зимин, Е.И. Голубева, И.М. Микляева,
О.В. Вахнина, А.И. Михеева

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАЗЕМНЫХ И ВОЗДУШНЫХ МЕТОДОВ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Введение

Информационно-космические технологии в сельском хозяйстве впервые нашли своё применение с середины 1960-х годов. С тех пор стремительное развитие съёмочных систем, космических и воздушных, в том числе беспилотных, технологий, позволило значительно расширить спектр решаемых задач в агропромышленном комплексе, среди которых: инвентаризация сельскохозяйственных угодий, контроль состояния посевов, оценка видов и степени деградации земель, определение состава почв, слежение за качеством и своевременностью проведения различных сельскохозяйственных мероприятий, прогноз урожайности. В России применение новых технологий мониторинга, основанных на снимках с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и открытых космических данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), играет особую роль в связи с интенсификацией сельского хозяйства, особенно зернового, и курсом на импортозамещение (Зимин, 2016). Актуально внедрение технологий так называемого «точного земледелия», предполагающего мониторинг вариаций развития культур внутри отдельных полей и их учёт при обработке. Внедрение технологий точного земледелия в сельское хозяйство позволяет экономить, по перспективным зарубежным проектам, до 30% дорогостоящих удобрений, гербицидов и пестицидов, уменьшить транспортные расходы, затраты ручного труда, улучшить состояние посевов и окружающей среды, повысить урожайность.

Лаборатория аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики совместно с другими кафедрами географического факультета МГУ на протяжении многих лет ведёт работы по дистанционной оценке состояния сельскохозяйственных культур. В последние годы развиваются несколько направлений: использование разновременных серий снимков для дистанционной оценки состояния земель, радиолокационный мониторинг сельскохозяйственных земель (Мартьянов и др.,

2017), применение спектрометрирования и гиперспектральной съёмки для оценки состояния растений (Огуреева и др., 2009; Деркачева и др., 2015; Микляева, Вахнина, 2016а, б; Зимин, 2016; Тутубалина и др., 2016). Этому последнему направлению и посвящена настоящая статья.

Выполненные исследования

Общие подходы к дистанционному мониторингу в сельском хозяйстве достаточно хорошо разработаны. В качестве базовой информации используются часто получаемые (не реже 8 дней) многозональные космические снимки, что позволяет охватить все стадии роста растений (Султангазин и др., 2005). Как универсальная характеристика состояния растений наиболее популярен нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI. Однако NDVI и иные спектральные индексы, рассчитываемые по довольно широким спектральным зонам (30–50 нм) многозональных снимков, не дают достаточно точную и количественную характеристику состояния растений, и поэтому получили распространение гиперспектральные технологии, когда съёмка ведётся в десятках и сотнях сравнительно узких спектральных каналов (обычно 3–10 нм). На основе таких гиперспектральных снимков рассчитываются специализированные узко-спектральные индексы, позволяющие на определённых стадиях роста растений количественно определять в них содержание различных пигментов, азота, зелёной фитомассы (Sahoo et al., 2015), что позволяет составлять оперативные карты для проведения дифференцированных мелиоративных мероприятий. Альтернативный подход – определение спектральных эталонов интересующих объектов (например, видов сорных растений) и их выявление по наиболее информативным спектральным каналам путём классификации на основе различных алгоритмов.

Космические гиперспектральные системы пока немногочисленны (американский EO-1 Hyperspectral Imager, завершивший работу, российский Ресурс-П ГСА), имеют недостаточно высокое пространственное разрешение (30 м) и частоту съёмки. Переходной служит современная многозональная система Sentinel 2 MSI, поставляющая открытые данные с двух спутников, и имеющая несколько узких спектральных каналов на границе красного и ближнего инфракрасного диапазона, с детальностью 20 м, что весьма актуально для мониторинга сельскохозяйственных культур, в совокупности с другими каналами той же системы, с детальностью 10 м.

Зато активно развиваются воздушные системы – от первых сканеров AVIRIS до современных лёгких сенсоров Resonon, Qubert, Gamma, которые ставятся на БПЛА. Актуальна проблема сбора наземной информации о спектральных характеристиках объектов с гиперспектральным разрешением, создание спектральных библиотек для поддержки дешифрирования гиперспектральных снимков (Касимов и др., 2015).

Несмотря на уже значительное количество работ по гиперспектральным методам для сельского хозяйства (например, Mahajan et al., 2014, Tanaka et al., 2015), и появляющиеся российские исследования Агрофизического института, Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского, Почвенного института им. В.В. Докучаева, крайне актуальными остаются натурные спектрометрические, биофизические и биохимические исследования на ключевых участках в различных агроклиматических зонах России, создание моделей роста сельхозкультур, связывающих спектральные характеристики культур и их ключевые параметры. В рамках этого направления мы получили новые результаты о связи спектральных, биофизических и биохимических характеристик сельхозкультур для ряда регионов Европейской России.

В отличие от сельскохозяйственных культур (Пугачева, Шевырнов, 2008), для оценки состояния и размера фитомассы которых достаточно успешно применяются различные виды вегетационных индексов, в том числе нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), на естественных лугах значения NDVI не всегда коррелируют с размером фитомассы, полученной с помощью укосов. Это связано с более сложным составом и структурой естественных лугов, их сезонной и многолетней изменчивостью под влиянием различных климатических и экологических факторов. Несмотря на то, что дистанционные методы выявления размера фитомассы естественных лугов, составляющих значительную часть кормовой базы животноводства, также важны, как аналогичные исследования сельскохозяйственных культур, примеры таких работ немногочисленны, относятся к другим типам растительности, в них не рассматривается сезонная и многолетняя динамика фитомассы (Муратова, Бекмухамедов, 2013). На территории учебно-научного полигона географического факультета МГУ «Сатино» в Калужской области (юг зоны широколиственно-хвойных лесов Европейской части России, р. Протва) с 2008 г. исследования долинных лугов в сочетании с наземным спектрометрированием для выявления связи величины фитомассы и NDVI проводятся на регулярной основе.

Методология исследований

Фитомасса долинных лугов исследовалась на 9 постоянных (1–9) и более 50 временных учетных площадках площадью 0,25 м², на которых синхронно проводилось наземное спектрометрирование (более 900 измерений), взятие укосов (162 укоса) и геоботанические описания. Растительные сообщества описывались на пробных площадях в 100 м². Наземное спектрометрирование проводилось по ранее разработанной методике полевым спектрометром SkyeInstruments SpectroSense2, регистрирующим излучение в спектральных зонах с центрами на 650 и 800 нм, в околополуденные часы (Огуреева и др., 2009; Микляева, Вахнина, 2016а, б). Величина NDVI на учётных площадках рассчитывалась по результатам 5 измерений. Среднее отклонение значений NDVI при одинаковых метеоусловиях составило ±0,2–0,3%. Среди изученных лугов можно выделить семь типов ассоциаций с характерным положением в рельефе, почвами, биоразнообразием, фитомассой, значениями NDVI (табл. 1).

Для исследования влияния сезонной динамики лугов на величину NDVI выполнена серия сеансов спектрометрирования постоянных учётных площадок при исходном состоянии фрагментов сообществ (с соцветиями). Спектрометрирование выполнялось с конца мая – начала периода формирования фитомассы, до последней декады июля – периода её максимального накопления, с интервалом около 10 дней, а также однократно в конце сентября в фазу затухания вегетации.

Для анализа связи величины фитомассы со значениями NDVI использовались многолетние данные спектрометрирования и взятия укосов на постоянных и временных учётных площадках, в период максимального накопления фитомассы (в середине июля). Вначале в каждом фрагменте сообществ, в зависимости от распределения фитомассы по высоте и её проективного покрытия, выделялись фитоценотические горизонты. Затем выполнялось несколько сеансов спектрометрирования: в исходном состоянии (с соцветиями), после их удаления и после удаления каждого вышележащего фитоценотического горизонта. В камеральных условиях определялся сырой вес укосов (в г/0,25 м²) каждого горизонта, всего фрагмента сообщества и отдельно – соцветий. Поскольку выполнялось спектрометрирование живых растений, для выявления связи со значениями NDVI использовалась величина фитомассы в сыром состоянии.

Районы, исследуемые сельскохозяйственные культуры, съёмочное и спектрометрическое оборудование, задачи по исследованию

Таблица 1. Средние многолетние значения параметров луговых сообществ на постоянных учётных площадках в период максимального накопления фитомассы

Ассоциации	Фрагменты сообществ на учётных площадках	Экотопы		Средние многолетние параметры УБЗ**	Параметры фрагментов сообществ в исходном состоянии (с цветениями) Сырая фитомасса, г/0,25м ² , NDVI
		рельеф	почвы*		
А1. Разнотравно-овсянцевая	м7 овсянцево-разнотравный	Склон средней поймы, <15°, южной экспозиции	Хорошо дренированные аллювиальные слоисто-карбонатные	Свежелуговое (61)/ довольно богатые (11)	169
	м8 клубнично-овсянцевый			Свежелуговое (62)/ довольно богатые (11)	191
А2. Таволгово-снытевая	м1 таволговый	Склон плакора, <3°, северной экспозиции	Слабо глееватые дерново-подзолистые	Влажнолуговое (71)/ довольно-богатые (10)	1108
	м2 снытевый			Влажно-луговое (69)/ довольно-богатые (11)	691
А3. Ежово-овсянцевая	м4 овсянцевый	Эрозионный склон долинного заundra, <3°, северной экспозиции	Дерново-карбонатные маломощные	Влажнолуговое (70)/ довольно богатые (12)	375
А4. Полевцево-овсянцевая	м6 овсянцевый	Пришловая часть высокой поймы, на правобережье р. Протвы	Аллювиальные дерновые карбонатные	Влажнолуговое (70)/ довольно-богатые (13)	386
	м5 незамечаемо-вейниковый			Влажнолуговое (73)/ довольно богатые (12)	453
А6. Наземно-вейниковая	м9 наземно-вейниковый	III НПТ, субгоризонтальная поверхность	Дерново-подзолы иллювиально-железисто-гумусовые	Влажнолуговое (65)/ довольно богатые (11)	318
А7. Камышовая	м3 камышовый	Антропогенная ложбина на долинном заundra, <3°, северной экспозиции	Сильно оглеенные намытые	Сырлуговое (77)/ богатые (14)	350

* Названия почв по И.П. Гавриловой и др. (2007)

** Значения увлажнения (У) и активного богатства почв (БЗ) по шкалам Раменского (1956).

Таблица 2. Районы и задачи исследований по материалам наземных и воздушных гиперспектральных съёмок 2012–2017 гг.

Районы, организации, годы работ	Культура	Оборудование и методы	Задача
Ленинградская область, Меньковская опытная станция Агрофизического НИИ, 2014–2015	Яровая и озимая пшеница	Воздушные съёмки, гиперспектрометр ЗАО «Реагент»; Наземные измерения гиперспектрометром ASD FieldSpec 3 Hi-Res, биофиз. и биохим. анализы стандартными методами	Дистанционное определение зелёной фитомассы растений, содержания азота, хлорофиллов а и b, каротиноидов, антоцианинов в растениях, влагосодержания растений
Краснодарский край, 2016	Озимая пшеница	Воздушные съёмки с БПЛА гиперспектральной камерой Gamaa, наземные измерения гиперспектрометром ASD FieldSpec 3 Hi-Res, Биофизические и биохимические анализы	Дистанционное определение фитомассы и содержания азота в растениях
Краснодарский край, Ставропольский край, Курская область, Липецкая область, 2016	Кукуруза, различные гибриды	Воздушные съёмки с БПЛА гиперспектральной камерой Gamaa, наземные измерения гиперспектрометрами ASD FieldSpec 3 Hi-Res, Ocean-Optics USB 2000+, Flame, биофизические анализы	Определение засухоустойчивости различных гибридов кукурузы в течение сезона (2-3 кратные съёмки)
Курская область, Белгородская область, 2016	Соя, кукуруза		Определение зелёной фитомассы посевов, поражённости сорными видами
Волгоградская, Ростовская область, 2016	Подсолнечник		Определение поражённости заразной подсолнечниковой
Белгородская область, 2017	Озимая пшеница, соя, кукуруза		Определение динамики зелёной фитомассы растений в течение сезона (трёхкратные съёмки), оценка урожайности
Краснодар, опытные поля ВНИИБЗР, 2017	Озимая пшеница, сорные растения		Дистанционный мониторинг бурой ржавчины на пшенице, создание спектральных эталонов основных сорных растений

сельскохозяйственных полей суммированы в табл. 2. При полевых измерениях на полях разбивались эталонные площадки размером 5×5 м (от 5 до 20 на поле), вблизи их краев размещались белые маркеры для опознания площадок на снимках. На площадках проводилось наземное спектрометрирование верхнего горизонта растений, отбор образцов на фитомассу (для пшеницы – на площадках 25×25 см, для сои – 50×50 см, для кукурузы – 100×100 см). В отличие от луговых экосистем, измерялась как сырая, так и сухая надземная фитомасса. В Ленинградской области дополнительно отбирались образцы на содержание азота, хлорофиллов а и b, антоцианинов в растениях, в Краснодарском крае в 2016 г – на содержание азота в пшенице.

Атмосферная коррекция беспилотных гиперспектральных снимков выполнялась по полевым спектрам открытых почв, измеренных синхрон-

но со съёмкой. Предварительная обработка гиперспектральных данных Gamaya OXI-40 проводилась в программе Gamaya Sprocket, составление ортофотопланов – в AgiSoft PhotoScan, спектральная аналитика – в ERDAS Imagine, ENVI, статистическое сопоставление наземных характеристик и воздушных спектров – в MS Excel, Matlab, оформление карт – в ArcGIS.

Результаты исследований

Для исследования влияния сезонной динамики лугов на величину NDVI выполнена серия сеансов спектрометрирования постоянных учётных площадок при исходном состоянии фрагментов сообществ (с соцветиями). Спектрометрирование выполнялось с конца мая – начала периода формирования фитомассы, до последней декады июля – её максимального накопления с интервалом около 10 дней, а также однократно в конце сентября в фазу затухания вегетации.

Для анализа связи величины фитомассы со значениями NDVI использовались многолетние данные спектрометрирования и взятия укосов на постоянных и временных учётных площадках, в период максимального накопления фитомассы (в середине июля). Вначале в каждом фрагменте сообществ, в зависимости от распределения фитомассы по высоте и её проективного покрытия, выделялись фитоценотические горизонты. Затем выполнялось несколько сеансов спектрометрирования: в исходном состоянии (с соцветиями), после их удаления и после удаления каждого вышележащего фитоценотического горизонта. В камеральных условиях определялся сырой вес укосов (в $г/0,25 м^2$) каждого горизонта, всего фрагмента сообщества и отдельно – соцветий. Поскольку выполнялось спектрометрирование живых растений, для выявления связи со значениями NDVI использовалась величина фитомассы в сыром состоянии.

В ходе исследований подтверждено, что сезонная изменчивость NDVI в целом коррелирует с сезонным ходом накопления зеленой массы, изменением содержания хлорофилла в листьях и продуктивностью луговых сообществ: у более продуктивных лугов значения NDVI выше и наблюдаются в более ранние сроки; схожие по условиям произрастания сообщества отличаются схожими сезонными кривыми изменения NDVI. Установлено, что эта закономерность осложнена рядом факторов: 1) существенное влияние на величину NDVI оказывает форма и расположение листовых пластинок преобладающих видов, в результате которого у сооб-

ществ, сформировавшихся в разных условиях увлажнения, но имеющих одинаковое расположение листовых пластинок отмечены схожие сезонные кривые NDVI; 2) в период цветения доминантов отмечается инверсия значений NDVI, пропорциональная величине фитомассы соцветий – при доле соцветий равной 9–12% от величины всей фитомассы наблюдается снижение NDVI на 11–12%, соответственно при доле 1–6% – на 1–2%.

На основании этих результатов сделан вывод, что для исследования зависимости NDVI от величины сырой фитомассы методом наземного спектрометрирования следует использовать данные, полученные после удаления соцветий, или, при использовании материалов многозональной аэро- или космической съёмки в период обильного цветения доминантов, вносить повышающие поправки в значения NDVI.

По результатам многолетних наблюдений выявлена *разногодичная изменчивость* основных параметров лугов – видового богатства, величины фитомассы и NDVI, установлены их средние многолетние значения (см. табл. 1).

Для постоянных учётных площадок получены данные *о разногодичной изменчивости фитомассы и NDVI* в период максимального накопления фитомассы. На рис. 1 показаны средние многолетние значения показателей и их средние отклонения на постоянных учётных площадках, ранжированных по возрастанию фитомассы. Установлено, что ежегодные отклонения величины фитомассы от средних многолетних значений составляют 8–24%, – это значительно больше отклонений величины NDVI (0,55–4,1%). Для более продуктивных лугов (более 400–500 г/0,25 м²) характерен больший разброс значений фитомассы и меньший – значений NDVI.

Установлено, что *характер связи величины сырой фитомассы и NDVI* зависит от типа луга, условий увлажнения, морфологии доминантов и не является линейным (рис. 2, а). При накоплении определённой критической величины фитомассы (в нашем исследовании – 2,5–3 кг/м²), различной у разных типов лугов, дальнейшее весьма существенное приращение фитомассы сопровождается небольшим увеличением значений NDVI. При величине фитомассы до 500 г/0,25 м², её увеличение на 10% сопровождается ростом NDVI в среднем на 2%, при больших значениях фитомассы – на 0,2%. Такой результат объясняется снижением влияния фрагментов почвы и подстилки на формирование отражённой радиации по мере увеличения фитомассы. Большое значение имеет морфология доминантов: размер, горизонтальное или вертикальное расположение листовых пластинок. При горизонтальном расположе-

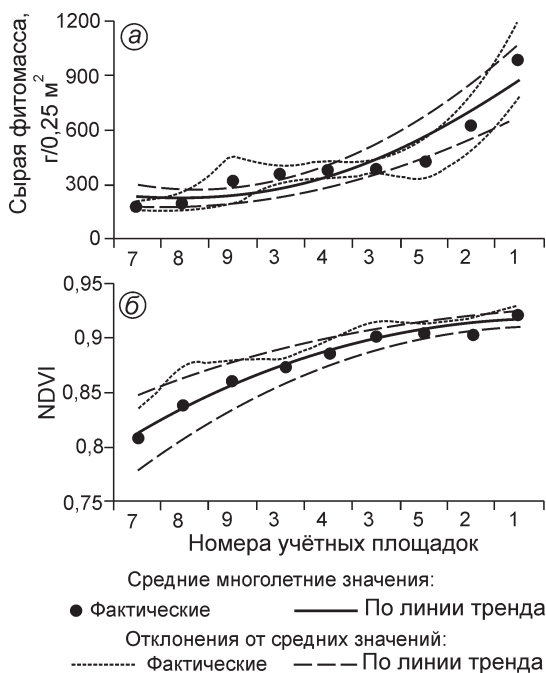


Рис. 1. Средние многолетние данные, полученные в период максимального накопления фитомассы (в середине июля): а – средняя многолетняя величина сырой фитомассы без соцветий; б – средние многолетние значения NDVI (по результатам спектрометрирования после удаления соцветий)

нии листовых пластинок, с увеличением фитомассы, прирост величины NDVI прекращается раньше, чем при вертикальном расположении.

Нелинейная зависимость подтверждается и при анализе корреляции значений NDVI с величиной фитомассы (рис. 2, б). Если на учётных площадках с размером фитомассы менее 400–500 г/0,25 м² средние многолетние значения коэффициента корреляции составляют 0,8 – 0,9, то при фитомассе 600 г/0,25 м² и более они снижаются до минимума, что затрудняет разработку методики использования NDVI для определения величины фитомассы высокопродуктивных лугов.

На сельскохозяйственных полях исследования проводились, как уже отмечалось, в разных природных условиях на экспериментальных полях Белгородской, Волгоградской, Курской, Ленинградской, Липецкой, Ростовской областях, Краснодарского и Ставропольского краёв. Использование синхронных воздушных и наземных гиперспектральных и фитометрических измерений параметров посевов (спектральных образов, густоты, запаса фитомассы, влагосодержания, содержания микроэлементов, повреждённости вредителя и сорняками и т.д.) на полях при всех различиях в наборе сельскохозяйственных культур и проводимых

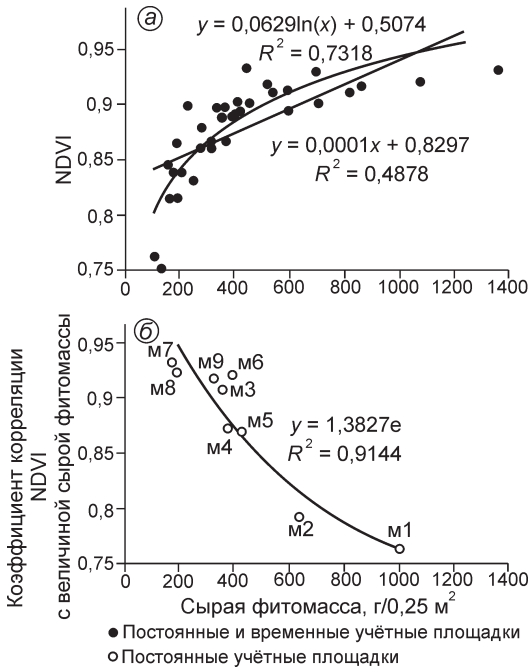


Рис. 2. Зависимость NDVI от величины сырой фитомассы (по данным многолетних наблюдений)

агротехнических мероприятий показали перспективность получаемой оперативной оценки их состояния. По материалам натурных измерений получены корреляционные зависимости, позволяющие создать карты фитомассы, содержания азота в растениях, проследить динамику развития посевов (Деркачева и др., 2015; Тутубалина и др., 2016).

Одним из наиболее популярных результатов анализа дистанционной информации для оценки состояния растительного покрова служат карты индекса NDVI, которые, однако, дают только относительную характеристику величины фитомассы. Основное преимущество применяемой нами гиперспектральной съёмки – в узких спектральных каналах, которые хорошо выявляют содержание хлорофилла в растениях, других пигментов, характеризуют влагонасыщенность и состояние листьев. Максимальные погрешности оценки показателей культур по составленным картам составляют до 30% от диапазона реально наблюдавшихся значений. ГИС-технологии позволяют также оперативно рассчитывать количественную статистику по интересующим или проблемным участкам полей. Так, NDVI не даёт достаточной дифференциации между опытами по агротехническим мероприятиям, они отличаются по значениям

индекса всего на 0,01–0,02. Это связано с тем, что индекс NDVI рассчитывается на основе обычных, не гиперспектральных съёмочных систем, по широким спектральным зонам, в пределах которых осредняются важные различия в состоянии растений. Поля с лучшим состоянием, наиболее высоким содержанием хлорофилла в пшенице имеют минимальные значения коэффициента спектральной яркости (КСЯ) на длине волны около 650 нм и максимальные около 700 нм, а опыты с худшим состоянием растений – наоборот. При осреднении эти различия теряются, разница в NDVI получается минимальной за счёт небольших различий в ближнем инфракрасном диапазоне. Узкоспектральные индексы по данным гиперспектральной съёмки для расчёта содержания азота, фитомассы растений GNDVI, MTCI (Dash, Curran, 2004) намного чувствительнее, чем NDVI, поскольку используются узкие диапазоны по 3–10 нм. В условиях стресса (засуха) идёт снижение индексов и наблюдается дифференциация разных видов по состоянию, в зависимости от плотности посевов и эффективности поступления влаги через корневую систему.

При использовании гиперспектральной информации перспективно проводить анализ графиков КСЯ. Результаты наземных измерений по полям позволяют считать, что участки, отличающиеся наилучшими фитометрическими показателями, имеют также высокий КСЯ в ближнем инфракрасном (БИК) диапазоне (более 750 нм), отвечающем за влажность и структуру листа, и средний КСЯ на красном минимуме (около 650 нм), связанном с поглощением хлорофилла. Участки полей с худшими показателями состояния растений имеют низкий КСЯ в БИК диапазоне и высокий КСЯ в красном диапазоне спектра. Участки полей с относительно хорошими показателями состояния растений имеют низкий КСЯ в БИК диапазоне и низкий КСЯ в красном диапазоне спектра, что говорит о достаточно высоком содержании хлорофилла в растениях, но худшем их общем состоянии. Бурая ржавчина пшеницы также выявляется по спектральному образу, однако нужны дальнейшие исследования для того, чтобы отделить её влияние от других неблагоприятных факторов, влияющих на состояние пшеницы. Гиперспектральная съёмка показала свою перспективность и для оценки динамики состояния посевов в течение вегетационного периода.

Наблюдается хорошее совпадение карт NDVI и других индексов, например, индекса влагосодержания растений DSWI (рис. 3), составленных по космическим и авиационным данным, и это даёт возможность использовать их совместно для мониторинга общего состояния полей.

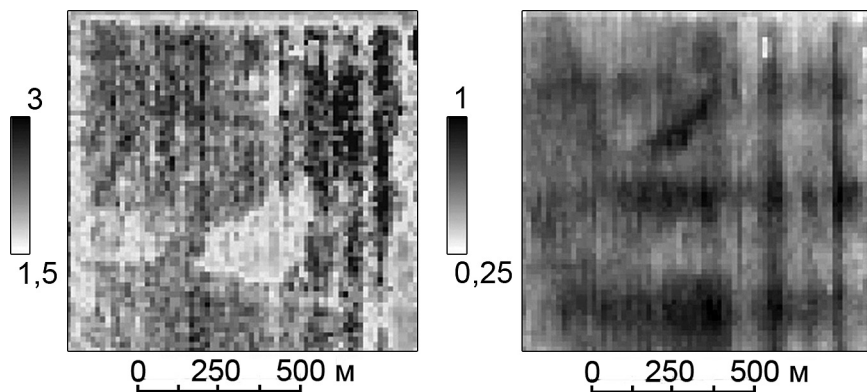


Рис. 3. Сравнение индексных изображений DSWI, полученных на участок полей в Краснодарском крае системами Sentinel-2 MSI (25.06.2016) и Gamaya OXI-40 (29.06.2016)

При этом космические снимки Sentinel 2 MSI уступают полученным с БПЛА по детальности (10–20 м по сравнению с 40 см), но выигрывают по чувствительности аппаратуры и по однородности снимков (исключены эффекты, связанные со сшивкой снимков с БПЛА, полученных при разных условиях освещения, например, при переменной облачности). Актуальным остаётся вопрос выбора оптимального алгоритма дешифрирования гиперспектральных данных при малом объёме обучающей выборки (а сбор большого объёма полевых эталонных данных всегда затруднён из-за нехватки времени и ресурсов). На рис. 4 показаны примеры дешифрирования величины фитомассы початков кукурузы в Белгородской области пятью разными алгоритмами по одним и тем же эталонам. Видно, что результаты дешифрирования в значительной степени различаются. Наилучшие результаты показал алгоритм спектрального угла (SAM) по всем каналам снимка.

Заключение

Проведённые исследования по возможностям использования наземных и воздушных методов спектрометрирования для определения состояния сельскохозяйственных угодий позволили сделать следующие выводы:

- для получения достоверной информации по состоянию сельскохозяйственных угодий (полей и лугов) необходимы наземные изме-

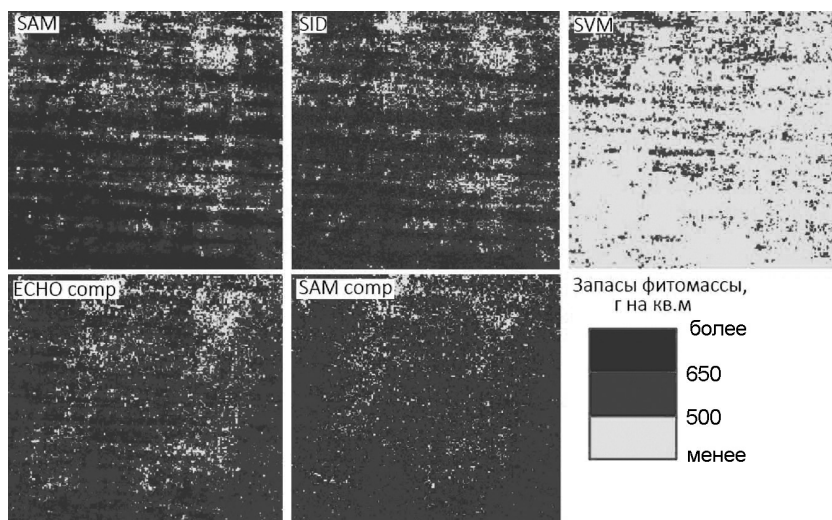


Рис. 4. Результаты автоматизированного дешифрирования фитомассы початков кукурузы по данным Gamaya OXI-40 на основе идентичных обучающих выборок и различных алгоритмов классификации (SAM – Spectral Angle Mapper, SID – Spectral Information Diverfence, SVM – Support Vector Machine, ECHO – Extraction and Classification of Homogeneous Objects; индекс comp означает, что использовались не все спектральные зоны, а только наиболее информативные производные компоненты)

рения их морфометрических параметров, позволяющие получить количественные данные и выявить корреляционные зависимости натуральных экспериментов и результатов гиперспектральной съемки;

- гиперспектральные индексы намного чувствительнее чем NDVI, при расчётах содержания микроэлементов, фитомассы растений и их влагосодержания;
- спектрометрирование исследуемых типов угодий позволяет создать карты, отражающие их текущее состояние, и рекомендовать необходимые агротехнические мероприятия в оперативном режиме;
- использования комплекса показателей – значений спектральной яркости, морфометрических параметров растений и вегетационных индексов – эффективны при интерпретации данных воздушных гиперспектральных съёмок для информационного обеспечения эффективного использования земельных ресурсов.

Полученные по долинным лугам результаты позволяют наметить несколько направлений дальнейших работ: уточнение сроков проведения

спектрометрирования по типам лугов со схожей сезонной динамикой накопления фитомассы и изменения величины NDVI, увеличение статистики наблюдений для каждого типа лугов для уточнения взаимосвязи этих показателей. Для сельскохозяйственных культур планируются работы, совмещающие разновременные наземные, воздушные и космические гиперспектральные и многозональные данные, результаты полевых исследований растений в целях создания моделей их сезонного роста на ряде ключевых агроклиматических участков в Европейской России.

Благодарности. Исследования выполнены при поддержке Программы развития Московского университета до 2020 года, проекта «Геопортал МГУ» (<http://www.geogr.msu.ru/science/projects/geoportal/>), компаний Gamaya (www.gamaya.com) и Syngenta (www.syngenta.com).

Авторы благодарят А.В. Труфанова (ООО «Гамаюн.аэро»), Й. Ахтмана (Gamaya), О.В. Плахотникова и В.Н. Острикова (Санкт-Петербургский филиал КБ «Луч») и ЗАО «Реагент» за организацию гиперспектральных съёмок и предоставление данных, И.М. Михайленко, Ю.В. Хомякова и В.В. Канаш (Агрофизический институт), А.А. Тенекова (ООО «АгроСофт»), А. Горобец (Syngenta), Центральную агрохимическую инспекцию Краснодарского края за предоставленные сведения о сельскохозяйственных полях, логистическую поддержку и консультации, а также коллег и студентов из МГУ имени М.В. Ломоносова (И.И. Середу, А.А. Созонтову, И.В. Садовую, А.А. Деркачеву, М.К. Тарасова, Ю.И. Тимохину, П.Г. Еремкину, Г.Л. Шинкареву, В.И. Ивановскую, А.Н. Инюшина, Т.М. Гизатулина) за помощь в полевых исследованиях и обработке данных.

Литература

- Гаврилова И.П., Герасимова М.И., Исаченкова Л.Б. Почвы и почвенный покров Сатинского полигона // *Общегеографическая практика в Подмосковье*. М.: географический фак-т МГУ, 2007. С. 147–176.
- Деркачева А.А., Тутубалина О.В., Зимин М.В., Голубева Е.И. Применение авиационных гиперспектральных снимков и наземных данных для целей точного земледелия // *Земля из космоса – наиболее эффективные решения*. Спецвыпуск, 2015. С. 43–46.
- Зимин М.В. Сельское хозяйство, вектор развития // *Земля из космоса – наиболее эффективные решения*. 2016. № 5 (21). С. 5–9.
- Касимов Н.С., Голубева Е.И., Лурье И.К., Зимин М.В., Самсонов Т.Е., Тутубалина О.В., Рис У.Г., Михеева А.И., Аляутдинов А.Р. Библиотека спектральных

- характеристик географических объектов в структуре Геопортала МГУ // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2015. № 5. С. 3–8.
- Мартыанов А.С., Балдина Е.А., Денисов П.В., Трошко К.А. Космический радиолокационный мониторинг для сельского хозяйства // Нелинейный мир. 2017. № 2. С. 42–44.
- Микляева И.М., Вахнина О.В. Фитомасса долинных лугов. Взаимосвязь с величиной вегетационного индекса (по результатам наземного спектрометрирования) // Использование и охрана природных ресурсов в России. М.: НИА-Природа, 2016а. № 4. С. 29–35.
- Микляева И.М., Вахнина О.В. Полевое наземное спектрометрирование в исследованиях сезонной и многолетней изменчивости величины фитомассы луговой растительности // Прорывные научные исследования как двигатель науки нового времени. Санкт-Петербург, 2016б. С. 10–14.
- Муратова Н.Р., Бекмухамедов Н.Э. Дистанционная оценка состояния естественных пастбищ по гиперспектральным данным и на основании космоснимков разного разрешения // Электронный научно-практический журнал «Сельское, лесное и водное хозяйство». Институт космических исследований имени академика У.М. Султангазина /<http://agro.snauka.ru/2013/01/815> Дата посещения 3 марта 2016 г.
- Огуреева Г.Н., Микляева И.М., Вахнина О.В., Тутубалина О.В. Полевое наземное спектрометрирование луговой растительности полигона «Сатино» // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2009. № 6. С. 71–77.
- Пугачева И.Ю., Шевырногов А.П. Изучение динамики NDVI посевов сельскохозяйственных культур на территории Красноярского края и Республики Хакасия // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Вып. 5. Т. 2. М.: ООО «Азбука–200», 2008. С. 347–351. /<http://agro.snauka.ru/2013/01/815> Дата посещения 3 марта 2016 г.
- Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М.: Гос. изд-во сел.-хоз. литературы, 1956. 472 с.
- Султангазин У.М., Терехов А.Г., Муратова Н.Р. Дистанционная диагностика состояния и функционирования зерновых агроценозов в Северном Казахстане // Оптика атмосферы и океана. 2005. Т. 18. № 12. С. 1088–1094.
- Тутубалина О.В., Голубева Е.И., Зимин М.В., Труфанов А.В. Гиперспектральные сервисы для точного земледелия // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. 2016. № 23. С. 14–21.
- Dash J., Curran P.J. The MERIS terrestrial chlorophyll index // Intern. Journ. of Remote Sensing. 2004. V. 25. P. 100–104.
- Mahajan G.R., Sahoo R.N., Pandey R.N., Gupta V.K., Kumar D. Using hyperspectral remote sensing techniques to monitor nitrogen, phosphorus, sulphur and potassium in wheat (*Triticum aestivum* L.) // Precision Agric. 2014. V. 15. № 2. P. 227–240.

Sahoo R.N., Ray S.S., Manjunath K.R. Hyperspectral remote sensing of agriculture // Current Science. V. 108. № 5. 10 March 2015. P. 848–859.

Tanaka S., Kawamura K., Maki M., Muramoto Y., Yoshida K., Akiyama T. Spectral index for quantifying leaf area Index of winter wheat by field hyperspectral measurements: A case study in Gifu Prefecture, Central Japan // Remote Sensing. 2015. V. 7. P. 5329–5346.

**O.V. Tutubalina, M.V. Zimin, E.I. Golubeva, I.M. Miklyaeva,
O.V. Vakhnina, A.I. Mikheeva**

APPLICATION OF GROUND AND AERIAL METHODS OF SPECTRAL OBSERVATIONS TO DETERMINING THE CONDITION OF AGRICULTURAL CROPS

We analyse potential and limitations for the use of terrestrial and remote spectroradiometry methods for determining the status of agricultural lands (valley meadows and crops), namely phytomass stocks, nutrient content, damage by pests and weeds. Changes in the spectral signatures of agricultural plants are shown depending on the heterogeneity of hydrothermal, soil, geomorphological conditions in fields in various natural zones and on the systems of plowing, irrigation, fertilization, use of herbicides and pesticides. The relationship between the normalized difference vegetation index (NDVI) and the amount of phytomass of different types of meadows in the valley of the Protva river (Kaluga region) has been determined, as well as between narrow-band spectral indices and parameters of crops in the experimental fields of the Leningrad, Belgorod, Volgograd, Kursk, Lipetsk, Rostov regions, Krasnodar and Stavropol territories. The results of this study indicate that the state of agricultural land can be determined with high accuracy through remote sensing and this can be used to increase the efficiency of land use.

В.И. Кравцова

НОВЫЙ РАКУРС ПРОБЛЕМЫ «РАЗРЕШЕНИЕ–ОХВАТ» В ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ: ТЕМАТИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ НА БАЗЕ GOOGLEEARTH

Введение

Современный этап дистанционного зондирования Земли характеризуется массовыми съёмками очень высокого – метрового и субметрового – разрешения со спутников разных стран. Вместе с тем, с начала 2000-х годов, когда появилась первая информационная система на основе космических снимков GoogleEarth, получившая высокую оценку потребителя, в первую очередь – географа (Берлянт, 2006), растёт количество бесшовных покрытий космическими снимками крупных регионов, стран и глобальных покрытий мира в целом, создаваемых в рамках геопорталов: Космоснимки, Яндекс-снимки, SASPlanet, Yahoo!Maps, MS Virtual Earth. Наиболее востребованной у российских исследователей остаётся система GoogleEarth.

Возможность работы не с множеством разрозненных, а с единым космическим изображением, относительно однотипным для крупных территорий, уникальная возможность изменения масштаба изображения и перехода к снимкам всё большей детальности, а в последнее время – и к «историческим снимкам», сделанным в разные годы и разные сезоны, что особенно важно для дешифрирования, предоставление дополнительной информации в виде наземных, перспективных и сферических фотографий населённых пунктов и природных объектов (Google Street View, Яндекс Панорамы улиц и др.), трёхмерных моделей, наличие средств выполнения измерений по снимкам – всё это побуждает исследователя к углублённому анализу территории, результаты которого целесообразно фиксировать картографически. Широкие информационные возможности сочетаются с потребностью составления карт разного типа и назначения. Но одновременно встаёт вопрос – каким способом можно использовать такие системы, изначально не предназначенные для создания карт, в тематическом картографировании?

Настоящая статья – попытка дать варианты ответа на этот вопрос на основе ряда практических экспериментов по составлению обзорных

карт на основе GoogleEarth. В этих экспериментах пришлось столкнуться с противоречием между чрезвычайно большим потоком информации исходного изображения высокого разрешения в крупном масштабе и вынужденным ограничением этого потока при картографическом представлении территории большого охвата в мелком масштабе.

Состояние исследований и постановка проблемы

Проблема «разрешение–охват» всегда была одной из ключевых в аэрокосмических географических исследованиях и картографировании. Изучение многих объектов земной поверхности требует достаточно высокого разрешения снимков, но технологии съёмки с околоземных орбит в первый период космических исследований, когда высокую детальность обеспечивала лишь фотографическая съёмка, не давали детальных изображений большого охвата. При разделении всего разнообразного фонда космических снимков, поступавших во второй половине XX в., по обзорности, масштабу и пространственному разрешению обнаруживалось хорошее соответствие. Мелкомасштабные глобальные и континентальные снимки низкого разрешения получали оптико-механическими сканирующими системами с метеорологических спутников. Среднемасштабные региональные снимки среднего и относительно высокого разрешения выполняли оптико-электронными сканерами с ресурсных спутников. Крупномасштабные локальные снимки высокого и очень высокого разрешения, обеспечиваемые тогда фотографическими системами с картографических спутников, имели небольшой охват. При их использовании для крупномасштабного полистного топографического картографирования этот недостаток преодолевался созданием фотопланов и ортофотопланов в рамках листа карты. Тематическому же картографированию, преимущественно региональному, приходилось по ряду причин ограничиваться использованием снимков уровня среднего и относительно высокого разрешения в несколько десятков метров.

На рубеже веков ситуация кардинально изменилась. Сокращение в 1990-х годах, а затем и прекращение запусков спутников с фотографическими системами в нашей стране – с одной стороны, и достижение метрового и субметрового разрешения при съёмке оптико-электронными системами – с другой, полностью перевели дистанционное зон-

дирование на рельсы цифровой съёмки. Но сверхвысокое разрешение цифровых снимков из космоса, реализованное после запуска в 1999 г. американского спутника Ikonos, было достигнуто благодаря использованию сверхдлиннофокусной оптики (с фокусными расстояниями объективов 10 м и более), обеспечивающей, однако, небольшой охват кадра съёмки на местности (11–16 км), поэтому проблема недостаточного охвата при высоком разрешении изображения в отношении одиночного снимка сохранилась и даже обострилась. Однако уже с начала 2000-х годов состоялись многочисленные запуски спутников со съёмочными системами сверхвысокого разрешения, расширился круг осуществлявших их стран (QuickBird, OrbView-3, WorldView-1,2,3, GeoEye-1 – США, EROS-A,B – Израиль, Formosat-2 – Тайвань, Cartosat-1,2 – Индия, ALOS – Япония, Kompsat-2 – Ю.Корея, Pleiades-1A\1B – Франция, Ресурс-ДК, Ресурс-П – Россия и др.). Эти события и дальнейшее повышение разрешения, разработка новых технологий, направленных на увеличение площадей съёмки (конвергентная для реализации нескольких маршрутов в одном пролёте, конвергентная стереоскопическая, создание группировок спутников) способствовали массовому накоплению съёмочных материалов сверхвысокого разрешения и практически полному глобальному покрытию ими земной поверхности.

Открылась возможность дополнить бесшовное глобальное сочленение снимков Landsat с разрешением 30, а теперь даже 15 м, созданное в системе GoogleEarth, изображениями сверхвысокого разрешения. Такое дополнение было постепенно реализовано фирмой Digital Globe за счёт включения в систему уже закупленных заказчиками снимков QuickBird, GeoEye и др. Учитывая общедоступность системы GoogleEarth, это к настоящему времени по ряду районов мира практически решило проблему источника детальной информации для многих видов географических исследований, а значит и тематического картографирования. Противоречие «высокое разрешение – малый охват», казалось бы, исчезло, высокое разрешение вышло на глобальный уровень. Однако технологий использования информации глобального бесшовного покрытия для создания тематических карт не появилось. Использование этой информации в интересах исследователей–географов и для разных видов тематического картографирования должно стать делом самих географов и картографов.

Следует учесть, что технологии применения снимков сверхвысокого разрешения по их прямому назначению – для топографическо-

го картографирования – активно разрабатываются и за рубежом, и в нашей стране (Нехин, 2008). Такие снимки приняли на вооружение также многие организации различных отраслей народного хозяйства России и они используются в комплексе с другими материалами для геологического картографирования (Федоровский, Скляров, 2009), для обеспечения нефтегазодобывающих предприятий (Абросимов, 2009), при постройке и эксплуатации нефтегазопроводов, для экологического мониторинга районов добычи алмазов (Мышляков и др., 2015). Фирмы-поставщики снимков, такие как Совзонд, Дата+, СКАНЭКС и другие по заказу отраслевых организаций разрабатывают технологии создания по снимкам высокого разрешения крупномасштабных карт, специализированных для данной отрасли (Беленов, Дворкин, 2009).

Во всех этих случаях оригинальные снимки, имеющиеся у картографа, используются по их прямому назначению, и геометрически откорректированный снимок служит как основой, так и источником для создания новой крупномасштабной тематической карты. В отличие от этого в нашем исследовании имеется в виду не материальное применение собственно снимков, включённых в глобальное покрытие, но не обеспеченных средствами картографирования, а их виртуальное использование, извлечение информации, содержащейся в детальном изображении, при создании более обзорных региональных тематических карт земной поверхности. В этом случае детальный снимок помогает распознать содержание картографируемых объектов, то есть используется для дешифрирования, но не для фиксирования его результатов, не для рисовки контуров, которую при таком обзорном картографировании целесообразно вести на более генерализованной основе, соответствующей масштабу картографирования. В настоящей работе представлен поиск технологии такого использования снимков сверхвысокого разрешения, в том числе включённых в информационную систему GoogleEarth, для регионального тематического картографирования.

Дешифрирование снимков в классическом понимании включает в себя две основные составляющие – распознавание объектов по снимкам и фиксацию результатов распознавания, обычно в виде контуров или знаков на карте (Лабутина, 2004; Книжников и др., 2011).

При использовании для дешифрирования системы GoogleEarth реализация первой составляющей процесса дешифрирования – распознавания – по сравнению с традиционным дешифрированием одного конкретного снимка обогащена благодаря возможности измене-

ния масштаба и подробности изображения, перехода от обобщённых характеристик к деталям, постепенного всё большего приближения к виртуальному объекту на местности. По аналогии с мультимасштабным картографированием (Берлянт, 2006; Самсонов, 2012), энергично развивающимся на кафедре картографии и геоинформатики МГУ имени М.В. Ломоносова, можно говорить о *мультимасштабном дешифрировании* снимков. Оно не ограничивается выбором оптимального масштаба (и, соответственно – детальности, разрешения снимков) для наилучшего распознавания объектов определённого типа, или получения характеристик этих объектов определённого иерархического уровня; в дополнение к этому сам факт перехода от одного уровня к другому используется для улучшения дешифрируемости, поскольку каждый уровень несет свою информацию об объекте.

До появления информационных систем со снимками переменных масштабов мы уже сталкивались с этой проблемой, работая с космическими снимками разных типов и разрешения. Для оценки информационной ёмкости таких снимков, возможности их применения в различных областях географических исследований была предложена система показателей географического разрешения (Кравцова, 1988). В качестве показателей географического разрешения выдвинуто несколько ключевых типов географических объектов – эрозионная сеть, сельскохозяйственные поля, населённые пункты. Исследованы закономерности преобразования их изображения с переходом от одного уровня разрешения к другому. Чётко выявленные особенности изображения этих объектов позволяли решать и обратную задачу – определять тип снимка, его разрешение по характеру изображения таких объектов. Использование этих показателей было целесообразно при выборе для исследования определённых объектов таких типов снимков, которые бы оптимально соответствовали решаемой задаче, принимая во внимание огромное разнообразие появившихся космических снимков с большим разбросом величины разрешения на местности от метров до километров. В своё время такие оценки имели существенное значение.

В системе GoogleEarth дешифровщик при постепенном изменении масштаба и разрешения изображений имеет возможность оперативного выбора изображения, наилучшего для распознавания исследуемых объектов. И в то же время при небольших колебаниях увеличения–уменьшения характеристики дешифрируемых объектов дополняются и уточняются.

Но после того как объект распознан и его характеристики получены, требуется решить вторую задачу – зафиксировать результат распознавания (то есть сущность, тип объекта) и его положение в пространстве создаваемой карты. В нескольких экспериментах по тематическому картографированию на базе GoogleEarth в порядке поиска мы опробовали различные варианты картографического закрепления результатов распознавания, которые далее и характеризуются в статье. Наши эксперименты касались в основном гидрографических объектов – береговой зоны, термокарстовых озёр, дельт рек, а также хозяйственного использования их территории – и строились эти эксперименты по-разному в зависимости от целей исследования. Поэтому опробовались технологически разные варианты.

Экспериментальные работы и результаты

Картографирование берегового дюнного рельефа Анапской пересыпи. С проблемой «разрешение–охват» мы сталкивались и при работе вне системы GoogleEarth. Эта проблема возникла при исследовании дюнного рельефа Анапской пересыпи, протянувшейся на 47 км вдоль северо-восточного побережья Чёрного моря от мыса Железный Рог на южном берегу Таманского полуострова до мыса Анапский. Узкая песчаная полоса пересыпи, представляющей собой аккумулятивную форму берегового рельефа, имеет ширину всего от 100 м до 1,5 км. Пляжи из кварцевого песка и тянущийся за ними дюнный пояс в сочетании с климатом и грязевыми ресурсами определяют уникальную рекреационно-бальнеологическую ценность пересыпи Анапского региона. Полученный в 1995 г. статус курорта федерального значения резко увеличил поток отдыхающих, и нерегулируемое антропогенное воздействие поставило под угрозу само существование Анапской пересыпи, определило необходимость мониторинга для разработки мер её охраны и защиты. В этой связи в совместном проекте лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Южного отделения Института океанологии РАН в последние годы выполняется детальное картографирование ландшафтно-морфологической структуры пересыпи (Kravtsova et al., 2016).

Различия ландшафтно-морфологической структуры дюнного пояса при ширине дюнных валов в первые десятки метров, их высоте до 10 м

и размерах основных структуроформирующих элементов – песчаных бугров, закреплённых кочками полыни – 1–2 м, выявляются только при самом высоком разрешении снимков. Поэтому в проекте используются приобретённые для него снимки со спутника WorldView-2 с разрешением 0,5 м в панхроматическом канале и 2 м в многозональном варианте. Наличие одновременных снимков с разных орбит обеспечило возможность стереоскопического дешифрирования «случайных» стереопар (Кравцова, Чалова, 2014). Дешифрирование выполняется в масштабе 1:2000, в котором величины разрешения снимков, возможности глаза и возможности компьютерного воспроизведения находятся в наилучшем соответствии, и оптимально обеспечивается восприятие деталей ландшафтно-морфологической структуры.

Однако при создании единой карты в таком масштабе (длина которой составила бы более 23 м) немыслимо её использование. Пришлось перейти к представлению картографических результатов по районам и участкам и к уменьшению масштаба до 1:5000 для рабочего варианта карты и до 1:10 000 для представления материалов в журнальных публикациях. Таким образом, в этом случае работа с изображениями высокой детальности для определения существа объектов, в данном случае – ландшафтно-морфологической структуры, не выявляемой в более мелком масштабе, – сочетается с переходом к значительно более мелкому масштабу для представления картографических результатов. Необходимость использования снимков высокого разрешения вступает в противоречие со стремлением иметь обзорную картину большого охвата.

Создание карты термокарстовых озёр России. Приступая к долговременным исследованиям динамики термокарстовых озёр как возможного индикатора состояния криолитозоны при колебаниях климата, мы решили прежде всего выявить пределы и характер размещения термокарстовых озёр на территории криолитозоны России, составив карту их распространения (Кравцова, 2009). Термокарстовые озёра хорошо дешифрируются на космических снимках со спутника Landsat с разрешением 30 м, составлявших в начале 2000-х годов, когда выполнялась эта работа, основное покрытие GoogleEarth.

Анализ полученных к этому времени одиночных снимков сверхвысокого разрешения показал, что сеть самых мелких озёр площадью до 1000 м² (0,1 га) в системе GoogleEarth не отражается, но они сопровождают озёра большего размера повсеместно. Надёжно же

отображающиеся на снимках Landsat озёра варьируют в размерах от 0,5 га до нескольких км² и они были разделены на группы по диаметру: малые (до 0,5 км), средние (0,5–1,5 км), большие (1,5–3 км) и крупные (3–6 км). Для различных районов криолитозоны характерны разные сочетания этих групп и районирование по сочетанию озёр разного размера было принято за основу содержания карты. Для разделения территории криолитозоны по этому признаку необходимо было выполнить анализ её изображения в таком масштабе, при котором группы озёр разного размера хорошо бы различались. Разделение выбранных групп оптимально в масштабе 1:200 000, но чтобы выдержать одинаковый принцип выделения для всей территории, необходимо было сохранить неизменным масштаб просмотра. Такая возможность контроля постоянства масштаба имеется в системе GoogleEarth.

Просмотр всей территории криолитозоны России выполняли последовательно без изменения параметра увеличения. Выделенные при просмотре границы районов с определённым сочетанием озёр разной величины визуально переносили на картографическую основу. В нашем случае в качестве основы использовалась справочная общегеографическая карта России масштаба 1:8 000 000. Густая гидрографическая сеть обеспечивала надёжную идентификацию контуров. Разница в масштабе исходного просматриваемого изображения и основы для нанесения результатов в 40 раз вполне оправдывает возможность визуального переноса, тем более что границы районов не характеризуются высокой чёткостью на местности.

Таким образом, в этом случае свойство мультимасштабности системы GoogleEarth для выделения районов с разными типами термокарстовых озёр не использовалось; напротив, пришлось прибегнуть к обеспечению постоянства выбранного масштаба наблюдения. Для фиксации же результатов анализа был привлечён дополнительный материал, в данном случае – картографическая основа. Тем не менее, именно использование системы GoogleEarth с единым снимковым покрытием территории всей страны обеспечило возможность обширного пространственного анализа, время которого измеряется в днях, а не месяцах и годах, которые потребовались бы при использовании для данной работы серий разрозненных снимков или карт. Здесь мы имеем пример создания мелкомасштабной карты большого охвата непосредственно по исходной достаточно детальной информации GoogleEarth без переходного составления карт в промежуточных масштабах.

Составление карт природных геосистем дельтовых районов (дельты рек Замбези, Дуная). Более типичным представляется использование детальной информации GoogleEarth с переходом к региональному масштабу исследований и картографированию в средних масштабах (1:300 000–1:500 000), которое мы проводили при исследовании геосистем дельт крупных рек – Замбези (Кравцова, Михайлов, 2014) и Дуная. Исследование многих объектов поверхности дельт – выделение серий вдольбереговых валов и дюнных гряд (в дельте Замбези, например, их насчитывается до 100 генераций), разделение тростниковой, кустарниковой, древесной растительности (в частности, в дельте Замбези – мангровых лесов, папирусных и тростниковых болот, травянистых и пальмовых саванн) требует обращения к изображениям высокого разрешения в GoogleEarth, к дешифрированию их в оптимально крупном масштабе, до 1:2000.

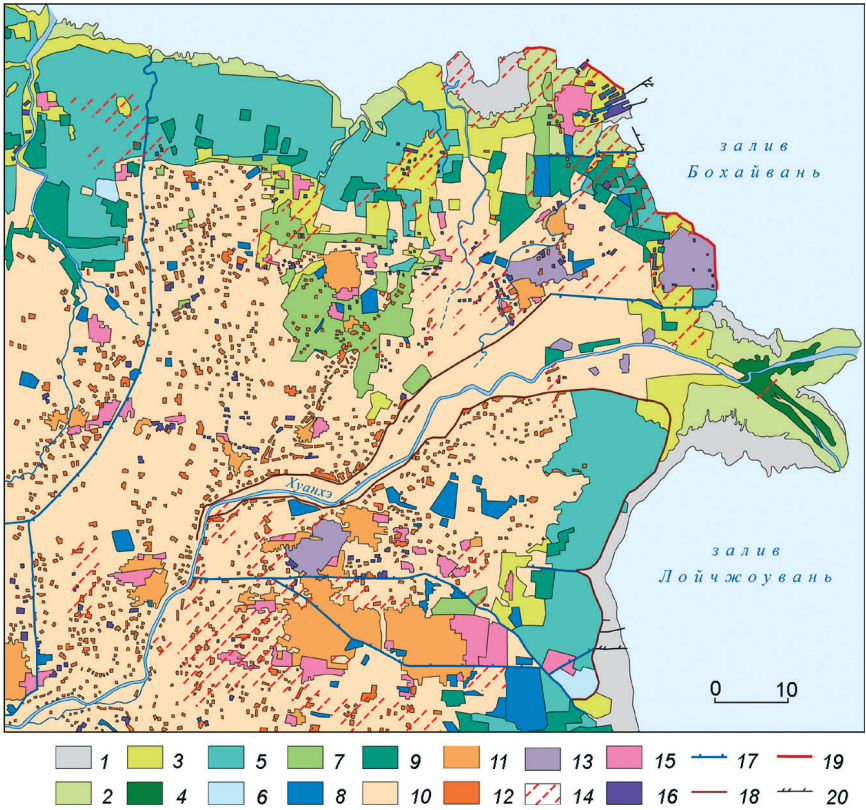
Результаты распознавания объектов фиксируются либо на общегеографической основе выбранного для результирующего картографирования масштаба (такая карта масштаба 1:500 000 использовалась в случае дельты Замбези), либо на основе в виде космического снимка подходящего масштаба, чаще всего со спутника Landsat (как это было в исследованиях дельты Дуная, где результаты дешифрирования фиксировались на отпечатке снимка Landsat масштаба 1:300 000). Различные геосистемы дельты, смена которых обычно обусловлена изменением условий увлажнения, по-разному изображаются на снимках Landsat, и границы многих из них могут быть выделены по спектральным признакам. Из структурных же признаков на этих снимках действуют лишь компоненты макроструктуры, например, сеть прямолинейных границ возделанных земель. Но для распознавания содержания выделенных контуров необходим более детальный анализ структуры изображения, недоступный по снимкам Landsat и требующий обращения к снимкам высокого разрешения. Например, в дельте Дуная среди прямоугольников возделанных земель оказались и сельскохозяйственные поля, и лесопитомники, выявляемые лишь при переходе к сверхвысокому разрешению, позволяющему различать участки лесонасаждений разного возраста и высоты, и хозяйства по выращиванию тростника в промышленных целях (для целлюлозного комбината в Браиле), с характерными каналами для работы уборочных машин и вывоза скошенного тростника, дешифрируемыми также лишь при сверхвысоком разрешении. Таким образом, в этом случае

снимок Landsat используется в качестве основы для рисовки контуров, а виды объектов в пределах этих контуров определяются при переходе к снимкам сверхвысокого разрешения в GoogleEarth.

Постоянно совершенствуемая система GoogleEarth с включением в неё снимков сверхвысокого разрешения обеспечивает возможность выбора из имеющихся для исследуемой территории детальных снимков те, которые наиболее полно раскрывают изучаемый объект. Снимки, сделанные в разные сезоны, позволяют и сезонные изменения изучаемого объекта использовать как его дополнительный дешифровочный признак. Это оказывается особенно важным, например, для изучения сельскохозяйственных объектов, когда по разносезонным снимкам возможен учёт фенологических фаз развития культур или хода агротехнических мероприятий, а также для гидрографических объектов с присущим им различиям водности по сезонам. Включение в GoogleEarth «исторической линейки» – возможности просмотра снимков сверхвысокого разрешения за все предшествующие годы, когда они были получены, – оказалась чрезвычайно важным для изучения динамичных объектов, например, в дельте Дуная – аккумулятивных кос, формирующихся в устьях рукавов с большим стоком наносов. Разновременные детальные снимки позволили проследить образование устьевых кос вдоль берега на отдалении от него, их перемещение волнением к берегу, отчленение ими вдольбереговых лагун, постепенно зарастающих и обуславливающих нарастание дельты.

Общим для обоих приведённых примеров среднемасштабного картографирования геосистем дельт является использование в качестве географической основы либо общегеографической карты, либо снимка Landsat. Но основная содержательная информация извлекается в процессе распознавательного дешифрирования снимков сверхвысокого разрешения. Для её получения требуется многократная утомительная смена увеличения, приближения к объекту для его распознавания, а затем – удаления, уменьшения масштаба для определения его местонахождения среди других объектов и отнесения к определённом выделенному на основе контуру. Утомительные повторения, трудоёмкость процесса – здесь плата за истину. Достигнутое высокое разрешение снимков при этом вступает в противоречие с трудностями использования его при обзорном картографировании большого охвата.

Составление карты природно-антропогенных геосистем дельты р. Хуанхэ. Однако в случае сложной территориальной структу-



ры, разнообразия видов хозяйственного использования территории и антропогенного вмешательства в её природу снимка Landsat уже недостаточно для фиксации результатов дешифрирования высокодетальных изображений в системе GoogleEarth; необходим поиск новой картографической основы. С этим пришлось столкнуться при исследовании природно-антропогенных геосистем дельты Хуанхэ (рис. 1) (Кравцова, Чалова, 2016).

Современная территория этой дельты, одной из самых динамичных в мире, выдвинувшаяся в залив Бохайвань Жёлтого моря с середины XIX в., полностью освоена; лишь узкая прибрежная полоса и приливная осушка сохраняют естественный облик. Земли дельты полностью заняты сельскохозяйственными полями и густо заселены. Сеть сельских поселений (размером 0,1–0,2 км²), равномерно распределённых среди полей, на снимках Landsat едва угадывается. В пери-

Рис. 1. Карта природных и антропогенных геосистем дельты Хуанхэ

А. Природные геосистемы дельты: 1 – песчано-илистая приливная осушка, не освоенная растительностью; 2 – песчано-илистые равнины у морского края дельты, слабо освоенные галофитной растительностью; 3 – илисто-песчанистые равнины периферийной зоны дельты, слабо освоенные галофитной растительностью, подготавливаемые к мелиорации; 4 – илисто-песчанистые равнины прирусловых участков дельты с зарослями тростниковой растительности.

Б. Антропогенные геосистемы. Аквакультурные хозяйства: 5 – разделенные дамбами приморские водоёмы аквакультурного использования; 6 – обустриваемые водоёмы, предназначенные для аквакультурного использования. Искусственные водно-болотные угодья: 7 – чередование узких пресноводных водоёмов с полосами суши с тростниковой растительностью. Искусственные водоёмы и водохранилища (8). Сельскохозяйственные поля: 9 – рисовые чеки; 10 – поля продовольственных и технических культур. Селитебные земли: 11 – города и крупные посёлки; 12 – небольшие посёлки. Промышленные объекты: 13 – поля нефтедобычи (сплошная сеть нефтяных скважин); 14 – разреженная сеть площадок нефтяных скважин, распространяющихся на поверхность различных природных и антропогенных геосистем; 15 – крупные промзоны преимущественно первичной переработки нефти и складирования нефтепродуктов; 16 – небольшие промзоны разной специализации. Водохозяйственные и защитные сооружения: 17 – каналы; 18 – дамбы; 19 – защитные морские стенки; 20 – эстакады с нефтепроводами и причалами для танкеров

ферийной зоне дельты в последние десятилетия получили развитие хозяйства аквакультур по выращиванию рыбы и креветок. Водоёмы этих хозяйств хорошо видны на снимках Landsat, но они чередуются с рисовыми полями, не выделяющимися среди сети водоёмов. В северной части дельты, где в связи с прекращением функционирования ранее активных рукавов произошло высыхание болот и потеря ценных водно-болотных угодий, предпринято создание искусственных болот в виде системы небольших водоёмов, чередующихся с полосами суши, и этот особый тип угодий на снимках Landsat не воспроизводится. Открытие в дельте месторождений нефти привело к быстрому развитию нефтедобычи не только на специально выделенных нефтяных полях, но и с вторжением площадок кустовых нефтескважин на участки сельскохозяйственных полей, в хозяйства аквакультур, на искусственные водно-болотные угодья.

Возникающие конфликты землепользования, которые необходимо отразить на составляемой карте, по снимкам Landsat не выявляются. Но все указанные особенности использования территории чётко проявляются на снимках сверхвысокого разрешения в GoogleEarth при увеличении изображения до масштабов 1:10 000–1:30 000 (рис. 2). В связи с этим использование снимков Landsat в качестве основы не решало проблемы и для картографической фиксации результатов

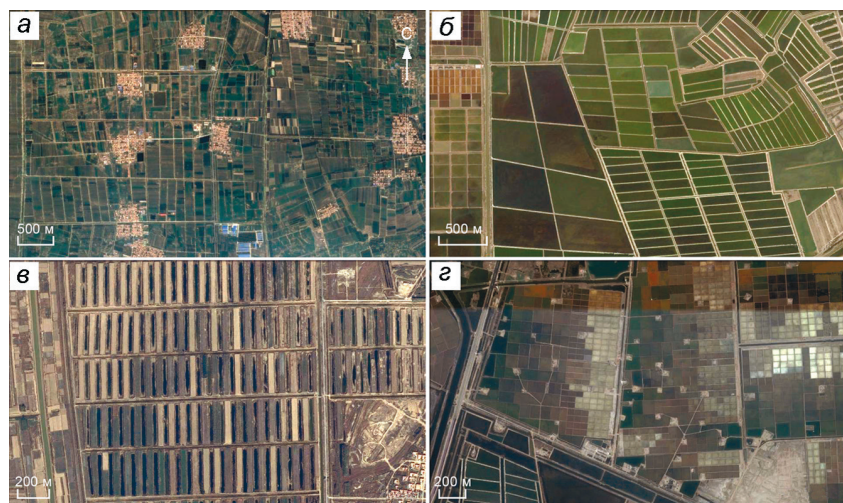


Рис. 2. Отображение различных антропогенных объектов дельты Хуанхэ на снимках GoogleEarth: а) сельскохозяйственные поля и сельские поселения; б) аквакультурные хозяйства; в) искусственные водно-болотные угодья; з) площадки скважин нефтедобычи среди рисовых полей

дешифрирования высокодетальных снимков пришлось подготовить основу на базе GoogleEarth. Учитывая масштаб создаваемой карты 1:500 000, детальное покрытие в GoogleEarth копировалось по отдельным участкам с вынужденным уменьшением изображения и потерей детальности, но до такой степени, чтобы на изображении ещё сохранялись контуры дешифрируемых объектов, существо (содержание) которых выявляется при анализе детальных снимков. В нашем случае таким переходным масштабом основы оказался 1:200 000. Проходя последовательно территорию дельты в этом масштабе в системе GoogleEarth, для каждого кадра на экране получали отпечаток изображения (print screen), на котором затем выделяли в результате дешифрирования контуры объектов будущей карты и индексировали в соответствии с разработанной легендой. Для дельты Хуанхэ пришлось подготовить 20 таких отпечатков. Отпечатки с отдешифрированными контурами соединены в единое изображение масштаба 1:200 000, подвергнутое последующей картографической обработке для создания карты природно-антропогенных геосистем в масштабе 1:500 000. Таким образом, в этом случае противоречие между высоким разрешением исходных изображений и обзорным характером результирующей

карты решалось путём использования непростой технологической цепочки в варианте «ручного» составления карты.

Заключение

Возвращаясь к проблеме «разрешение – охват», которая в начале космических исследований волновала потребителя из-за слишком малого охвата снимков высокого разрешения, следует констатировать, что с развитием методов съёмки высокого разрешения, при сохранившихся малых размерах единичных снимков, получает глобальный охват благодаря практически полному покрытию детальными снимками земной поверхности. В то же время наличие и желание использовать детальную информацию в тематическом картографировании, преимущественно средне- и мелкомасштабном, высвечивает другую проблему – необходимость разграничения распознавательного дешифрирования снимков высокого разрешения – с одной стороны, и обзорного картографирования на основе дешифрирования – с другой.

Сравнительно скромный накопленный опыт работы в системе GoogleEarth для тематического картографирования, интересные тематические карты, созданные при проведении экспериментов, охарактеризованных в статье, и уже применяемые в исследованиях свидетельствуют о перспективности этого вида использования существующих информационных спутниковых систем. В то же время этот опыт показывает необходимость поиска новых более совершенных технологий, перевода их на уровень автоматизации. Некоторые попытки в этом направлении были сделаны на кафедре картографии и геоинформатики при картографировании различных типов пригородной застройки на основе информации геопорталов (Конфектов, 2014). Безусловно, поиски автоматизированных методов использования детальной информации бесшовных покрытий снимками следует продолжить.

При использовании информации, полученной с различных геопорталов, необходимо руководствоваться лицензионными требованиями, которые чаще всего разрешают использование данных и производных продуктах в научных (некоммерческих) целях. В качестве важного итога постепенно накапливающегося опыта работы с информационными системами, включающими непрерывные бесшовные покрытия снимков разных уровней детальности, следует указать

на необходимость развития нового направления аэрокосмических исследований – мультимасштабного дешифрирования.

Благодарности. Исследование опирается на опыт и результаты работы по грантам РФФИ 16-05-00288 и 15-05-02654. Особая благодарность Е.Р. Чаловой за помощь в подготовке иллюстраций.

Литература

- Абросимов А.В. Два проекта компании «Совзонд» в области информационно-го обеспечения нефтегазодобывающих предприятий на базе современной космической съемки: месторождение на этапе гологоразведки и освоенный лицензионный участок // Геоматика. 2011. № 1 (10). С. 63–71.
- Беленов А.В., Дворкин Б.А. ОРТОРЕГИОН – новый продукт для создания топографических карт // Геоматика. 2009. № 2 (3). С. 47–54.
- Берлянт А.М. Теория геоизображений. М.: ГЕОС, 2006. 262 с.
- Берлянт А.М. Электронный глобус – географическая основа глобального картографирования // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2006. № 4. С. 34–40.
- Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Издат. центр «Академия», 2011. 416 с.
- Конфетов М.Н. Методика картографирования плотности застройки пригородных районов по космическим снимкам высокого разрешения (на пример западного Подмосковья) // Геодезия и картография. 2014. № 10. С. 16–24.
- Кравцова В.И. Распространение термокарстовых озер в пределах криолитозоны России // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2009. № 3. С. 33–42.
- Кравцова В.И., Михайлов В.Н. Дельта Замбези и ее изменения под воздействием водохранилищ // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2014. № 3. С. 48–56.
- Кравцова В.И., Чалова Е.Р. Возможности дешифрирования «случайных» стереопар космических снимков сверхвысокого разрешения (на примере дюнного рельефа Анапской пересыпи) // Геодезия и картография. 2014. № 9. С. 34–40.
- Кравцова В.И., Чалова Е.Р. Экосистемы современной дельты Хуанхэ на разных этапах ее формирования: исследование по космическим снимкам // Геоинформатика. 2016. № 4. С. 56–66.
- Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: Аспект Пресс, 2004. 184 с.
- Мышляков С.Г., Сизов О.С., Горбачева Е.Н., Скачкова А.С., Габрашитова А.В. Космический мониторинг антропогенного воздействия в районе алмазодобывающей деятельности (на примере Мирнинского ГОК) // Геоматика. 2015. № 4 (29). С. 42–52.
- Нехин С.С. Создание и обновление топографических карт и планов на основе обработки космических сканерных изображений // Геодезия и картография. 2008. № 11. С. 34–40.

Самсонов Т.Е. Мультимасштабное картографирование – новое направление картографии // Современная географическая картография. М.: Дата+, 2012. С. 21–35.

Федоровский В.С., Скляров Е.В. Использование аэрокосмических данных высокого разрешения для целей геологической картографии (Ольхонский геодинамический полигон, Байкал) // Геоматика. 2011. № 1 (10). С. 42–47.

Kravtsova V., Chalova E., Krylenko V., Tutubalina O., Falaleeva A. Mapping of variations in the Anapa bay bar landscape-morphologic structure with high resolution satellite images // Proc. of EMECS'11 SeaCoasts XXVI joint conf. «Managing risks of coastal regions and communities in a changing world». St.-Petersburg, 2016 (electronic publication).

V.I. Kravtsova

**A NEW TURN OF A PROBLEM «RESOLUTION–EXTENT»
IN REMOTE SENSING: THEMATIC MAPPING
AT THE BASE OF GOOGLEEARTH**

«Resolution–swath» was a problem in Remote Sensing at last years because of small swath of high resolution images. Now situation is changed due to global coverage with very high resolution satellite images. Their including into seamless coverage of GoogleEarth and others information systems gives the possibilities of observing thematic mapping with very high resolution information. Some experience of such mapping is characterized in the paper at examples of coastal regions, thermokarst lakes, river deltas. Mapping was created at base of GoogleEarth using expert visual interpretation and "by hand" methods, but development of automated technologies is necessary. A new notion in Remote Sensing – "multiscale interpretation" – is suggested.

А.А. Медведев, Н.А. Алексеенко

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ТЕМАТИЧЕСКОГО КРУПНОМАСШТАБНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Введение

В последнее десятилетие произошёл принципиальный технологический скачок, и огромное значение среди методов дистанционного зондирования приобрели беспилотные летательные аппараты (БПЛА), которые применяются в самых разных предметных областях в целях исследования окружающей среды (Colomina, Molina, 2014). Области применения БПЛА охватывают исследования растительности, водных ресурсов, почвенного покрова, полезных ископаемых, геоморфологических структур, а также мониторинг городской инфраструктуры и учёт населения. Особенно широкое применение такой метод дистанционного зондирования нашёл при построении цифровых моделей рельефа (ЦМР) местности, 3D-моделей (Haala et al., 2013) и получении их производных, что напрямую представляет альтернативу технологиям измерений на основе обнаружения и измерения дальности – лидарам наземного, воздушного, космического базирования (Рыльский, 2017).

Высокая цена спутниковых снимков сверхвысокого пространственного разрешения, топографо-геодезических работ и аэрофотосъёмки с самолётов (Севастьянова, Серебряков, 2015; Кадничанский и др., 2017) заставляет искать более дешёвые технологии, которые дают сравнимое и более высокое качество снимков при минимальных трудозатратах и финансовых потерях. Качество съёмки местности с БПЛА зависит от разных факторов (рис. 1), которые можно разделить на технологическую (особенности съёмочного оборудования и технические ограничения), человеческую (навыки пилотирования и опыта аэрофотосъёмки) и географическую (особенности съёмки в различных природных зонах, рельеф местности, внутригодовые и внутрисуточные особенности объекта съёмки) (Медведев и др., 2016).

БПЛА является многообещающим инструментом (Митин, Никольский, 2013) для получения разновременных стереоснимков и построения ЦМР высокого разрешения, но надо помнить все ограничения

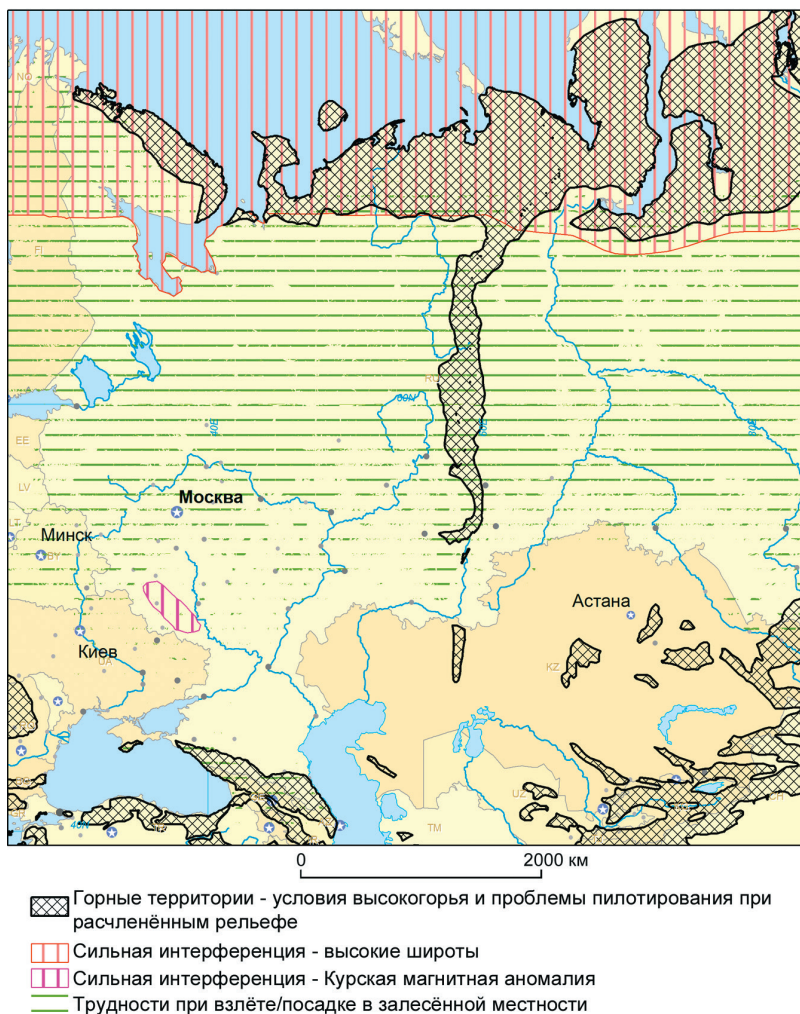


Рис. 1. Природные факторы, влияющие на съёмку

данного метода, чтобы сверхдетальные субметровые данные не стали источником метровых ошибок и погрешностей (Laliberte, Rango, 2009). Сейчас существуют два принципиальных типа лёгких БПЛА – мультироторные системы (квадро/гекса/октокоптеры – мультикоптеры) и самолёты с фиксированным крылом (Иноземцев, 2013; Петров, 2013). Мультикоптеры могут нести большое количество полезной нагрузки, в результате чего появилась возможность установки более продвинутых

Таблица 1. Основные технические факторы, влияющие на качество снимков

Фактор	Описание
Платформа	Высота, скорость и траектория полёта, перекрытие снимков сказываются на детализации. Угол съёмки и структура объекта влияет на плотность точек, детализацию в теневой части
Камера	Разрешение, частота кадров, экспозиция, настройки цвета, спектральных каналов (RGB, БИК) влияют на дешифрируемость из-за различия спектральных свойств и плотности облака точек.
Алгоритмы	Алгоритмы идентификации объектов, их соответствия, использование алгоритмов вторичного уплотнения, яркость и калибровка камеры влияют на точность 3D модели, плотность и спектральные свойства.
Привязка	Точность GPS и качество привязки влияют на пространственную точность облака точек и оценки структуры растительности.
Пост-обработка, фильтрация	Различные алгоритмы фильтрации (например, фильтрации DEM) влияют на точность модели местности и высоты.

систем, которые позволяют вести оптическую, мульти/гиперспектральную и тепловизионную съёмку (Кузьмин и др., 2014; Vasterling, Meyer, 2013), что в свою очередь является весьма перспективным источником данных для крупномасштабного тематического картографирования (Зинченко, 2011; Сечин и др., 2011). При таком наборе возможностей существуют и объективные ограничения – небольшая зона охвата (покрытия) съёмкой, относительно невысокая скорость полёта и высокие потери заряда батареи при разных природных условиях и режимах полёта. БПЛА самолётного типа с фиксированным крылом, обладая тем же инструментарием, больше подходят для создания стереографических изображений и цифровых продуктов большего пространственного охвата. В настоящее время в гражданском применении БПЛА используется в основном ручное пилотирование, и качество полученных данных в значительной степени зависит от умения и опыта пилота (оператора) или погодных условий, которые делают полёт более сложным (табл. 1).

Сверхвысокое пространственное разрешение данных, полученных с БПЛА, помимо своего субметрового преимущества вызывают ряд проблем, связанных с хранением (количество снимков и их объём – «большие данные») и обработкой (нехватка мощностей стационарных компьютеров при большом количестве снимков) съёмки большого пространственного охвата. Разрешение действительно обеспечивает более высокую детализацию и возможность распознавания новых свойств и характеристик объектов, однако в некоторых случаях даёт сильную зернистость изображений и пространственную неоднородность, обусловленную тенями объектов и их деталей.

Технологический процесс и его особенности

При проведении съёмок в целях получения крупномасштабной тематической карты (Михайлов и др., 2011, 2013) необходимо учитывать ряд географических факторов – влияние сезонных и суточных условий среды на объект съёмки и на съёмочную аппаратуру. Процесс съёмки с БПЛА определяется рядом условий – техническими особенностями используемой аппаратуры и поставленными задачами.

В зависимости от имеющейся аппаратуры подготовительный этап полёта может присутствовать, а может его и не быть. Этап технической подготовки БПЛА включает в себя калибровку магнитного компаса, передатчика, настройку GPS-модуля, системы автоматического пилотирования; зарядку аккумулятора, установку камеры и датчиков. Подготовительная стадия включает определение маршрута движения и изучения местности с целью увидеть препятствия полету. Планирование маршрута связано с особенностями объекта съёмки и условий местности. Так, в горных условиях для исключения ошибок, вызванных проблемой продольного параллакса, нужно производить перспективную съёмку, в дополнении к плановой съёмке, и с высокой долей перекрытия кадров на участках с большими углами наклона поверхности.

БПЛА оснащены GPS-модулем, который определяет и запоминает координаты точки старта, что позволяет в случае неисправности во время полёта возвращаться на место. Встречаются и случаи отказа работы самого GPS-модуля, при этом аппарат обращается к заводским настройкам и в качестве стартовой точки определяет местонахождение производителя. В таком случае необходимо переключиться в режим полностью ручного управления с помощью дистанционного пульта управления.

При тематическом картографировании важно на основе данных дистанционного зондирования уметь извлекать со снимков необходимую информацию. На практике приходится использовать снимки, полученные с различных систем, свойства которых неодинаковы. Для оптимального решения задач обработки и дешифрирования снимков необходимо знать особенности регистрирующей аппаратуры.

В качестве съёмочной системы при аэросъёмках, как правило, используют специальные фотоаппараты – топографические аэрофотоаппараты. Эти фотоаппараты характеризуется существенно большей производительностью, более высокой метрической точно-

стью, высоким пространственным и радиометрическим разрешением. Современные цифровые аэрофотоаппараты оснащены специальными устройствами, обеспечивающими аэрофотосъёмку с заданным перекрытием, впечатыванием в кадр сенситометрического клина и навигационных данных, автоматическое регулирование экспозиции, измерения контрастности изображения и компенсацию его сдвига. Однако этот тип камер, ввиду большого их веса и крупных размеров, используются при съёмке с пилотируемых воздушных судов или крупных БПЛА (Henri Eisenbeiß, 2009).

В инструкциях к летательным аппаратам, как правило, изложены лишь основные моменты по конструкции и техническому управлению, а методика проведения аэрофотосъёмки при реализации конкретных тематических задач отсутствуют. Во многих исследованиях, которые используют БПЛА, мало внимания уделяется методике съёмки. Это один из важнейших факторов, который влияет на итоговый результат и тематическую интерпретацию материалов съёмки. Выбор оптимального высотного эшелона съёмки напрямую влияет на распознаваемость объектов и вычленение их свойств и признаков.

В связи с большим разнообразием БПЛА и их технического оснащения, этап обработки данных может сильно отличаться (Барбасов, Гречищев, 2014). Это может быть только изменение яркости итоговых мозаик снимков для улучшения визуального дешифрирования или же полная фотограмметрическая обработка (Henri Eisenbeiß, 2009; Jagt et al., 2015) с аффинными и полиномиальными преобразованиями и выравниванием яркостей между снимками.

Для строгой фотограмметрической обработки (Boon et al., 2016) данных аэросъёмки и получения максимально точных результатов необходимо, чтобы снимки в одном маршруте имели тройное перекрытие, а перекрытие между снимками соседних маршрутов при площадной съёмке составляло не менее 20%. На практике, при съёмке с БПЛА эти параметры выдерживаются далеко не всегда. Полёт не устойчив, на него влияют порывы ветра, турбулентность и другие факторы: «рванный» режим полёта (ручное управление), ошибки записи при автоматизированной съёмке. Если съёмку с обычных самолётов планируют с перекрытием вдоль маршрута 60%, а между маршрутами 20–30%, то проектировать съёмку с БПЛА следует с перекрытием вдоль маршрутов 80%, а между маршрутами – 40%, чтобы, по возможности, исключить разрывы в фототриангуляционном блоке.

Обработка данных съёмки сводится, главным образом, к получению ортофотомозаик. Для этого выполняется преобразование центральной проекции, в котором представлен аэроснимок, из-за наклонного положения главной оптической оси, в центральную проекцию, соответствующую его отвесному положению. В результате такого трансформирования должны быть полностью исключены перспективные искажения и разномасштабность снимков, возникающие вследствие изменения угла наклона и высоты съёмки.

В целом, процесс обработки любых данных дистанционного зондирования, полученных с воздуха состоит из этапов предварительной обработки, фотограмметрической обработки и дальнейшего дешифрирования, однако съёмка с БПЛА имеет свои технологические особенности.

Процесс обработки для данных в видимом и БИК диапазонах происходит по одному принципу, с применением программного обеспечения для 3D-реконструкции. Этот тип программного обеспечения основан на технологии компьютерного зрения – сопоставления точечных (пиксельных) особенностей. Точечная особенность изображения заключается в выделении на изображении такой точки, окрестность которой можно отличить от окрестности любой другой точки на изображении. За окрестность точки берётся плавающее прямоугольное окно разных размеров (3×3, 5×5 и т.д.). Для определения таких точек по признаку яркости пиксела используются детекторы и дескрипторы. Из всего многообразия детекторов при обработке аэроснимков применяется предназначенное для стереозрения – структуры из движения (Structure from motion, SfM). Каждой точке особенностей создаётся математическое описание (дескриптор), который сопоставляется на двух изображениях. При условии близости двух дескрипторов на разных снимках компьютер воспринимает участок как один и тот же физический объект. Это позволяет получить изображение – карту глубины, где яркость пиксела заменяется на его расстояние до камеры.

Программное обеспечение для данных целей может быть представлено как отдельным фотограмметрическим продуктом (Agisoft Photoscan, Pix4Dmapper), так и дополнительным модулем к ГИС (IMAGINE UAV для ERDAS IMAGINE), или как облачным сервисом (Drone Deploy). Для обработки также подходят ПО 3D-реконструкции общего назначения, как Autodesk 123D Catch или Photosynth. Алгоритмы, заложенные в этих программах, отличаются, что влияет на получение результатов разного качества при схожих исходных данных.

Применение БПЛА при тематическом картографировании в различных предметных областях

На данный момент количество работ по крупномасштабному тематическому картографированию и мониторингу (Chou et al., 2010) компонентов природной среды с использованием БПЛА значительно уступает инженерным исследовательским работам. Проведя анализ применения данных с БПЛА по предметным областям, можно с уверенностью утверждать, что фактически во всех дисциплинах существуют примеры использования и даже отдельных научно-технических программ, результатом которых служат тематические крупномасштабные карты и классифицированные мозаики снимков.

Эти средства и методы нашли широкое применение в изучении почвенно-растительного покрова, особенно при проведении работ по точечному земледелию. Применение данных съёмок в исследованиях почвенно-растительного покрова охватывает две основные группы задач: одна связана с изучением структуры почвенно-растительного покрова, а другая – с изучением динамических свойств и показателей (Gillan et al., 2014; Granholm et al., 2015). Для этих целей, как правило, используется многозональная или гиперспектральная съёмка (табл. 2).

БПЛА весом менее 5 кг служат удобным альтернативным инструментом для исследований в области лесного и сельского хозяйства. В сравнении со стандартной аэрофотосъёмкой БПЛА более маневренны и меньше зависят от погодных условий. Существует ряд примеров по оценке видового состава деревьев, а также вычисление процентных соотношений растительных сообществ (Husson et al., 2016), вплоть до видового распознавания растений.

Весьма интересен опыт инвазивного мониторинга для оценки действия длительного применения гербицидов на коренные растительные сообщества (Zweig et al., 2015). Это исследование было выполнено с помощью контролируемых методов классификации для автоматической идентификации и подсчёта относительного содержания инвазивных и коренных видов растений.

Преимущество использования БПЛА при мониторинге лесных пожаров (Hinkley, Zajkowski, 2011; Merino et al., 2011; Werner, 2015) заключается в минимизации нахождения пожарных бригад в очаге возгорания, снижая риск причинения ущерба здоровью работающих людей (Zajkowski et al., 2016). БПЛА широко применяются для оценки

Таблица 2. Факторы, влияющие на качество изображения

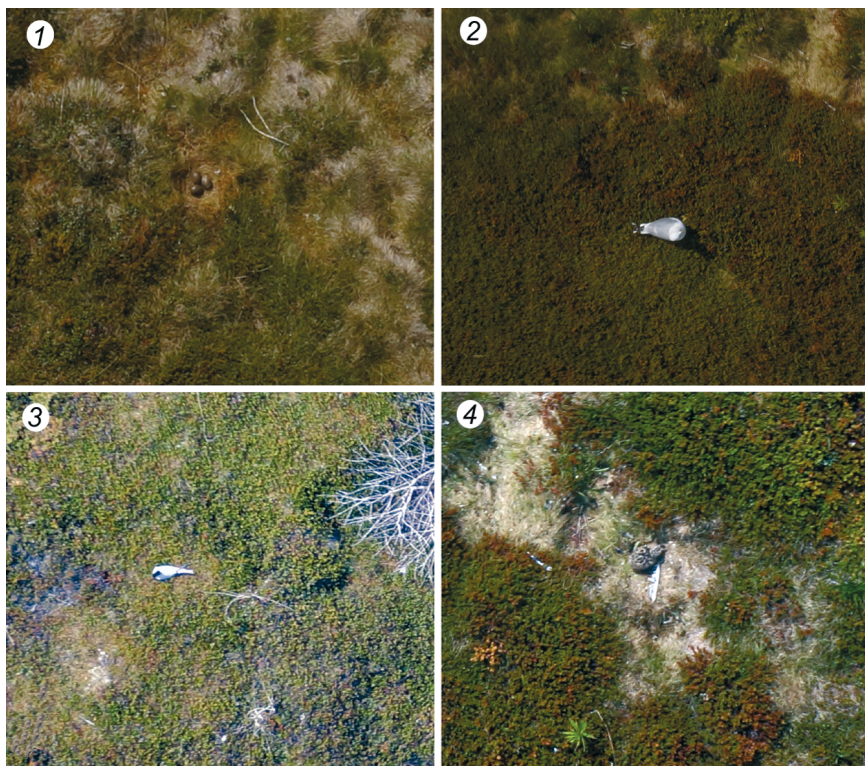
Ветер	Движущиеся листья и ветки ограничивают функции сопоставления и порождают позиционные ошибки.
Освещённость и внутрисуточная динамика	При разной освещённости, времени суток (длинные тени) итоговый результат разнится.
Тип растительности, видовой состав, фенологические особенности	Одни и те же методы компьютерного зрения могут привести к разным результатам при различных проективных покрытиях, видовом составе и сезоне съёмки.

ущерба от лесных пожаров (Pastor et al., 2011) на основе использования инфракрасных снимков высокого разрешения, на которых чётко различаются живые и сгоревшие деревья.

В сельском хозяйстве БПЛА используются для мониторинга растительности: виноградников, посадок кофе, зерновых, кукурузы. Это стало возможным после уменьшения цены на коммерческие мульти-спектральные и тепловизионные камеры, фотограмметрическую технику для получения изображений. Большая часть работ основывается на использовании многозональной и гиперспектральной съёмки растительного покрова и вычислении вегетационных индексов, что в свою очередь даёт возможность качественной и количественной оценки биомассы. Встречаются работы по применению БПЛА в экстремальных условиях. Так, существует исследование, в рамках которого используется съёмка в многозональном режиме, в том числе и тепловом, для изучения состояния сообществ мхов в Антарктиде (Turner et al., 2014), в окрестности полигона австралийской полярной станции.

Использование космических снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения для решения зоогеографических задач (Linchant et al., 2015; Hodgson et al., 2016) практически невозможно в связи с малыми размерами объекта исследования. Только применение аэрофотосъёмки с пилотируемых или беспилотных летательных аппаратов может дать должный результат (Gallik, Bolešová, 2014; Ivosevic et al., 2015, 2016). Особый подход при зоогеографических исследованиях связан с тем, что животные реагируют на шум, издаваемый БПЛА, и метод съёмки подбирается исходя из поведенческих особенностей объекта съёмки (Алексеев и др., 2015). При проведении подобных съёмок необходимо подбирать такие параметры, как расстояние между объектом съёмки и точкой взлёта, высоту и скорость полёта (Тертицкий и др., 2015).

Для зоогеографических исследований особый интерес представляет тепловая съёмка. Применение алгоритмов автоматизированного рас-



① Гнездо с яйцами

② Сизая чайка на гнезде

③ Полярная крачка на гнезде

④ Птенец поморника в гнезде

Рис. 2. Примеры использования БПЛА в орнитологических исследованиях

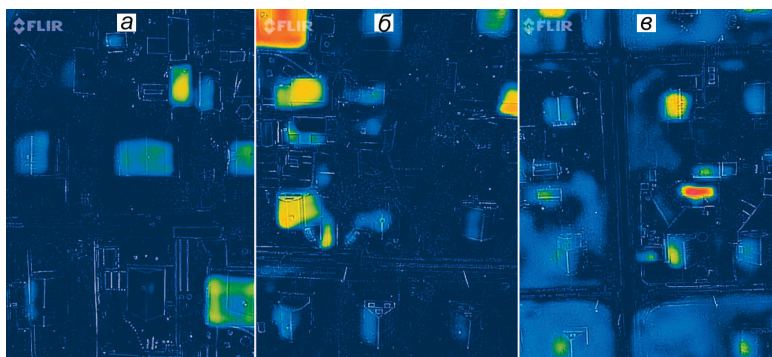


Рис. 3. Учёт фактического населения с помощью БПЛА с тепловой камерой

познавания образов даёт возможность производить учёты, например колоний птиц с использованием лишь фотографических снимков (без теплового канала) и картографировать ареалы их обитания и гнездования (Sarda-Palomera et al., 2012). Авиачёт животных при помощи БПЛА – один из наиболее точных способов учёта. Дешифрирование полученных снимков позволяет определить не только плотность и численность учитываемых видов животных (Jones et al., 2006; Christie et al., 2016), но и их биотопическое распределение, количественный состав групп, автоматического определения населения колонии. Высокая точность позиционирования и оптическое разрешение позволяет биогеографам не только определить необходимые виды по аэрофотоснимкам, но и понять состояние особи на основе тепловых снимков. Воздушная съёмка морских млекопитающих регулярно проводится для оценки и мониторинга мест обитания вида и статуса популяции. Так, БПЛА в зоологических целях используются для авиачёта животных как по прямым, так и по косвенным признакам, распознавания и видовой классификации, мониторинга численности, картографирования ареалов обитания и мест гнездования и т.д. (рис. 2).

В последнее время набирают обороты исследования, связанные с применением БПЛА при картографировании и мониторинге водных объектов. Дистанционного зондирования температуры водной поверхности с помощью тепловой инфракрасной аэросъёмки является одним из перспективных направлений для исследования температурной структуры водоёмов. Температуру поверхности воды обычно изучают с различных типов БПЛА (пилотируемых вертолётов, самолётов или мультикоптеров), оборудованных тепловыми камерами. Сейчас в мире существуют альтернативные автоматизированные температурно-сенсорные системы на основе БПЛА для быстрого получения 3D тепловых карт водоёмов путём погружения датчика температуры в воду на контролируемую глубину с летательного аппарата. БПЛА обладает рядом преимуществ при изучении водных объектов (Lejot et al., 2007): не требуют доступа к береговой линии, быстро и легко развёртывается, позволяет проводить регулярный (повторный) автоматизированный отбор проб. Однако существуют и свои ограничения: исследование только поверхностной толщи воды; солнечные блики от воды и ветровые волнения; гомогенность поверхности, что затрудняет привязку (James, Robson, 2014) и автоматическую обработку.

БПЛА имеют большой потенциал в гляциологии, в частности при изучении снежного покрова (De Michele et al., 2016) и его характеристик. Уже получили широкое применение и хорошие результаты данные с БПЛА

при картографировании ледников. Информация о толщине снега и её пространственном распределении – очень важный параметр для ряда направлений гляциологии и гидрологии. Использование методов беспилотной аэрофотосъёмки для мониторинга снежного покрова стремительно растёт в связи с разработкой удобных алгоритмов автоматизированной обработки, которые позволяют сопоставлять точки привязки, создавать высокоточные ЦМР и ортофотопланы путём автоматического сопоставления общих признаков из набора перекрывающихся изображений. Естественным ограничением данного метода (Bühler et al., 2016), как и в области гидрологии, служит гомогенность поверхности и солнечные блики, которые создают лишние «шумы» на этапе обработки изображений и мешают (поиск связующих точек) совмещать снимки в единую мозаику. Другим неоспоримым фактором, влияющим на процесс и методику съёмки, служат отрицательные температуры. В зимнее время или в условиях температуры ниже нуля значительно сокращается заряд литиево-полимерных батарей, на которых работают большая часть современных БПЛА.

В теории, при соблюдении всех методических рекомендации и при учёте всех технических факторов и внешней среды можно построить цифровую модель снежного покрова с разрешением в сантиметр, но на практике этого достигают лишь единичные работы. Впрочем, это один из лучших методов получения информации о процессах снегонакопления и снеготаяния. Обычная аэрофотосъёмка с БПЛА, без получения ЦМР и их производных, уже не первый год успешно применяется для изучения ледников, что позволяет получать картометрические показатели этих объектов с сантиметровой точностью: границы, подвижки, трещины. Ещё одно направление, где БПЛА прочно заняли свою нишу, – мониторинг ледовой обстановки и составление ситуационных карт и планов для морей и океанов полярных областей Земли. Фактически, они сопровождают суда и при необходимости могут взлететь с палубы судна.

В геоморфологии, как ни в одной другой предметной области востребованы данные, полученные с БПЛА (Chandler, 1999; Hugenholtz et al., 2013; Lee, Choi, 2015). Точнее, не сами данные, снимки и мозаики изображений, а результат их фотограмметрической обработки – ЦМР местности и их морфометрические производные (Anders et al., 2013). Изображения сверхвысокого разрешения и ЦМР могут быть проанализированы и использованы для составления карт опасностей (Niethammer et al., 2010; Al-Rawabdeh et al., 2016), антропогенной трансформации, инженерно-геоморфологических, эколого-геоморфологиче-

ских (Anderson, Gaston, 2013), экзогенных процессов (Frankenberger et al., 2008; D'oleire-Oltmanns et al., 2012). Развитие данного метода позволило в полуавтоматическом и полностью автоматизированном режиме создавать карты оперативного реагирования и мониторинга опасных процессов, фактически следить за событиями в режиме реального времени. С применением БПЛА геоморфологические исследования опускаются на уровень изучения наноформ рельефа, так как эти объект легко распознаются на снимках и ЦМР субдециметрового разрешения.

В геологических исследованиях беспилотная аэросъёмка нашла применение при изучении литолого-петрографического состава, геотермальных источников, гидрогеологических и палеосейсмических условий. Уже существует пример исследования с применением БПЛА с целью картографирования тектонических разломов в горной местности (Eisenbeiß, 2009), где также отмечается эффективность и экономическая выгода такого подхода. Кроме того, при проведении геологических исследований встречается использование и другого вида полезной нагрузки для магнитного зондирования и геофизических исследований.

Методы дистанционного зондирования с БПЛА нашли применение в исследованиях социально-экономического блока географической науки (рис. 3). Наряду с сельским хозяйством, о котором говорилось выше, наиболее популярно применение БПЛА в мониторинге объектов инфраструктуры (Барбасов, 2017; Siebert, Teizer, 2014), охране и инвентаризации культурного наследия (Новиков, Плетняков, 2017), учёте населения. Такое направление имеет другой тип ограничения, не связанный с технологиями или методикой – законодательный. Во многих странах мира, включая Российскую Федерацию, существуют ограничения на полёты над территорией города и скоплениями людей, что не позволяет в полной мере пользоваться данным методом.

Выводы

Перспективы использования БПЛА при крупномасштабном тематическом картографировании напрямую связаны с технологическими этапами развития данного типа съёмки, в особенности съёмочной аппаратуры. На основе изложенного выше можно сделать следующие выводы:

1. Использование БПЛА при картографировании не является абсолютной альтернативой и не может полностью заменить другие типы

съёмки и методы дистанционного зондирования. Этот метод служит лишь дополнительным инструментом в географических исследованиях. В линейке «пространственное разрешение – охват – оперативность» использование БПЛА лишь замещает ограничения таких методов дистанционного зондирования как космическая съёмка, плановая аэрофотосъёмка и лазерное сканирование.

2. Применение БПЛА при тематическом картографировании в разных предметных областях обусловлено типом местности, специфическими характеристиками объекта съёмки, используемой съёмочной аппаратурой и факторами географической зональности, которые лимитируют использование данного метода. Все перечисленные выше проблемы и задачи требуют разработки отдельных методик съёмки по предметным областям и направлениям географических исследований.

3. Субметровое и субдециметровое пространственное разрешение, получаемое на основе съёмки с БПЛА, заставляет вернуться к дальнейшей разработке теории дешифровочных признаков. Дешифрирование снимков с БПЛА и автоматизированное распознавание образов требуют сбора новых эталонов, прямых и косвенных признаков, которые повысят качество и глубину обработки.

4. Решение задачи обработки и хранения данных большого пространственного охвата и сверхвысокого разрешения, а фактически «больших данных» (Big data), напрямую связано с организацией распределённой инфраструктуры. Стационарные компьютер в силах оперативно и одновременно обработать в хорошем качестве только результаты одного полёта БПЛА (до 1000 снимков). Глубокая обработка, классификация, объединение нескольких готовых ортофотопланов большого охвата – задачи для «облачных» решений, которые позволят использовать результаты съёмки с БПЛА в тематическом картографировании на полную мощность.

5. В процессе съёмки, а далее при обработке данных БПЛА, используемых при тематическом картографировании, возникает проблема «мёртвых зон» или эффекта «колодца», как называют его другие исследователи (Рыльский, 2017). Конечно, такой проблемы не возникает при воздушном лазерном сканировании, но её вполне можно решить с помощью увеличения перекрытия снимков или на основе дополнительной перспективной съёмки местности.

6. Решение географических задач, связанных с рельефом, имеют технологические ограничения, так как в результате обработки стереопар снимков (Stefanik et al., 2011) с БПЛА в фотограмметрических про-

граммных продуктах на выходе получается не цифровая модель рельефа (ЦМР), а цифровая модель местности (ЦММ), которая включает в себя все местные объекты: растительность, здания и т.п. Эта проблема провоцирует появление на цифровых моделях замкнутых локальные псевдопонижений, которые в свою очередь влияют на производные параметры, такие, например, как направления поверхностного стока. Фотограмметрические программы строят модель по кронам деревьев и поверхности прочей растительности (луговой и кустарниковой), что отличает модель от фактического рельефа порой на десятки метров. Этот фактор может быть учтён и компенсирован на основе использования алгоритмов глубокой фильтрации, что в разы может уменьшить погрешность.

7. С точки зрения оперативности, высотных эшелонов съёмки, пространственного разрешения и экономической эффективности, для решения задач прослеживания внутрисуточных динамики природно-антропогенных объектов аналогов съёмки с БПЛА ныне не существует. Решение подобных задач при мониторинге объектов не только в оптическом, но и в мульти/гиперспектральном диапазоне, в разное время суток может дать новые результаты, в особенности в области изучения растительности.

8. Съёмка с БПЛА в целях тематического картографирования может стать одним из главных инструментов подспутниковых исследований. Полноценная реализация «этажерки» (высотных эшелонов) и технологической линейки «наземные исследования – съёмка с БПЛА – аэрофотосъёмка с самолета – космическая съёмка» позволит покрывать тематическими данными высокой детальности обширные территории. Помимо тематических задач, это может быть и инструментом для введения калибровочных поправок в материалы космической съёмки в целях их внедрения.

9. Точность пространственной привязки материалов съёмки с БПЛА, а следовательно и результирующих карт, напрямую зависят от установленного ГНСС оборудования на съёмочной платформе. На единичных примерах БПЛА установлены высокоточные приёмники (RTK), что вызывает необходимость при планировании съёмки и последующей обработке набирать контрольные точки и выполнять «перепривязку» снимков. В свою очередь, координаты контрольных точек уточняются высокоточным оборудованием, что позволяет повысить точность и соответствовать выходных карт масштабу.

10. Анализируя отечественный и зарубежный опыт использования БПЛА при тематическом картографировании, можно заключить, что интервал масштабного ряда карт и схем, созданных с применением

данного метода, лежит от 1:500 до 1:25000. Конкретный масштаб результирующих карт почти во всех исследованиях напрямую связан с охватом территории (время полёта БПЛА), высотой съёмки и техническими характеристиками съёмочной аппаратуры.

11. Перспективы использования БПЛА при тематическом картографировании в некоторых предметных областях, таких как социально-экономические исследования, напрямую связаны с законодательной базой использования БПЛА в нашей стране. Ограничения на высотные эшелоны, территории и объекты съёмки, регистрация и учёт оборудования, включая пилотов, сильно тормозят развитие отрасли в целом и применение данного инструментария при крупномасштабном картографировании.

Литература

- Алексеевко Н.А., Медведев А.А., Карпенко И.А. Мониторинг животного мира на особо охраняемых природных территориях с помощью беспилотных летательных аппаратов // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2015. Т. 17. № 6. С. 304–309.
- Барбасов В.К., Гречищев А.В. Мультироторные беспилотные летательные аппараты, представленные на российском рынке: обзор // Инженерные изыскания. 2014. № 8. С. 27–31.
- Барбасов В.К. Возможности применения беспилотных авиационных систем для мониторинга воздушных ЛЭП // Геопрофи. 2017. № 1. С. 20–24.
- Зинченко О.Н. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъёмки для картографирования (часть 1), 2011 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.racurs.ru/?page=681> (дата обращения: 20.05.2017).
- Иноземцев Д.П. Беспилотные летательные аппараты: Теория и практика // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2013. № 2 (49), 3 (50). С. 48–51.
- Кадничанский С.А., Бабашкин Н.М., Нехин С.С. Сравнение эффективности аэрофототопографической съёмки с использованием беспилотных и пилотируемых авиационных систем // Геопрофи. 2017. № 1. С. 14–19.
- Кузьмин В.Н., Зуй В.И., Павлюченко А.М. О возможности применения беспилотных летательных аппаратов в теплоразведке // Инновации в проектировании систем газоснабжения: материалы научно- практического семинара. Минск: Белгипрогаз, 2014. С. 15–17.
- Медведев А.А., Алексеевко Н.А., Курамагомедов Б.М. Возможности и ограничения использования БПЛА в географических исследованиях // Изв. высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. 2016. № 5. С. 117–122.

- Митин М.Д., Никольский Д.Б.* Современные тенденции развития отрасли беспилотных летательных аппаратов // *Геоматика*. 2013. № 4. С. 27–31.
- Михайлов А.П., Курков В.М., Чибуничев А.Г.* Испытательный полигон для тестирования беспилотных летательных аппаратов, используемых для картографирования и мониторинга территорий // *От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии*. Тезисы 11-й Междунар. науч.-технич. конф. Барселона, Испания, 2011. С 28–29.
- Михайлов А.П., Эдгар Рубен Монтелье Андраде, Перес Вальдез Мануель де Хесус.* О применении цифровых фотокамер со шторно-щелевым затвором для выполнения аэрофотосъемки с легкомоторных и беспилотных летательных аппаратов // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2013. № 4. С. 30–32.
- Новиков В.В., Плетняков П.А.* О создании единой цифровой модели ландшафта Археологического комплекса «Гнёздово» // *Геопрофи*. 2017. № 1. С. 26–29.
- Петров М.В.* Практический опыт использования БПЛА SWINGLET CAM // *Геопрофи*. 2013. № 2. С. 42–44.
- Рыльский И.А.* Оценка возможности использования данных ВЛС и аэрофотосъемки с БПЛА для обеспечения проектных работ // *Геопрофи*. 2017. № 2. С. 15–22.
- Севастьянова С.А., Серебряков Н.М.* Методическое пособие по курсу «Техника и технология аэрокосмической съемки». Раздел «Цифровые аэрофотосъемочные системы». М.,: Изд. МИИГАиК, 2015. 58 с.
- Сечин А.Ю., Дракин М.А., Киселева А.С.* Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования (часть 2) 2011 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.racurs.ru/?page=699> (дата обращения: 20.05.2017).
- Тертицкий Г.М., Медведев А.А., Черенков А.Е., Семашко В.Ю., Кудиков А.В.* Опыт использования беспилотных летательных аппаратов в орнитологических исследованиях // *Русский орнитологический журнал*. 2015. Т. 24. № 1114. С. 785–788.
- Al-Rawabdeh A., He F.N., Moussa A., El-Sheimy N., Habib A.* Using an unmanned aerial vehicle-based digital imaging system to derive a 3D point cloud for landslide scarp recognition // *Remote Sensing*. 2016. V. 8. P. 95. doi: 10.3390/rs8020095.
- Anders N., Masselnik R., Keesstra S., Suomalainen J.* High-resolution digital surface modeling using Fixed-Wing UAV-based photogrammetry // *Proc. of Geomorphometry*. 2013. Nanjing, China, 16–20 October 2013.
- Anderson K., Gaston K.J.* Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2013. V. 11. P. 138–146.
- Boon M.A., Greenfield R., Tesfamichael S.* Wetland assessment using unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry // *Proc. of the XXIII ISPRS Congress*. Prague, Czech Republic, 12–19 July 2016.
- Bühler Y., Adams M.S., Bösch R., Stoffel A.* Mapping snow depth in alpine terrain with unmanned aerial systems (UASs): potential and limitations // *The Cryosphere*. 2016. V. 10. P. 1075–1088. doi: 10.5194/tc-10-1075-2016.
- Chandler J.* Effective application of automated digital photogrammetry for geomorphological research // *Earth Surface Processes and Landforms*. 1999. V. 24. P. 51–63.

- Chou T.-Y., Yeh M.-L., Chen Y.-C., Chen Y.-H. Disaster monitoring and management by the unmanned aerial vehicle technology // ISPRS Technical Commission VII Symposium. W. Wagner and B. Szekely. Vienna, Austria, IAPRS. XXXVIII: 6, 2010.
- Christie K.S., Gilbert S.L., Brown C.L., Hatfield M., Hanson L. Unmanned aircraft systems in wildlife research: current and future applications of a transformative technology // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2016. V. 14. P. 241–251.
- Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review ISPRS // *Journ. of Photogrammetry, Remote Sensing*. 2014. V. 92. P. 79–97.
- De Michele C., Avanzi F., Passoni D., Barzaghi R., Pinto L., Dosso P., Ghezzi A., Giannatti R., Della Vedova G. Using a fixed-wing UAS to map snow depth distribution: an evaluation at peak accumulation // *The Cryosphere*. 2016. V. 10. P. 511–522. doi: 10.5194/tc-10-511-2016.
- Doleire-Oltmanns S., Marzolf I., Peter K.D., Ries J.B. Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco // *Remote Sensing*. 2012. V. 4. P. 3390–3416.
- Frankenberger J.R., Huang C., Nouwakpo K. Low-altitude digital photogrammetry technique to assess ephemeral gully erosion // *Geoscience and Remote Sensing Symposium*. 2008. IGARSS 2008. IEEE International.
- Gallik J., Bolešová L. The use of quadcopter DJI-phantom with GoPro camera for mapping in protected areas // *Proc. of Intern. Scientific Conf. Hradec Králové, Czech Republic, 15–19 December 2014*. P. 3630–3636.
- Gillan J.K., Karl J.W., Duniway M., Elaksher A. Modeling vegetation heights from high resolution stereo aerial photography: An application for broad-scale rangeland monitoring // *Journ. of Environment Management*. 2014. V. 144. P. 226–235.
- Granhölm A.H., Olsson H., Nilsson M., Allard A., Holmgren J. The potential of digital surface models based on aerial images for automated vegetation mapping // *Intern. Journ. of Remote Sensing*. 2015. V. 36. P. 1855–1870.
- Haala N., Cramer M., Rothermel M. Quality of 3D point clouds from highly overlapping UAV imagery // *Proc. of the Conf. on Unmanned Aerial Vehicles in Geomatics (UAV-g)*. Rostock, Germany, 4–6 September 2013.
- Henri Eisenbeiß. UAV Photogrammetry. Eth zurich. Diss. Eth no. 18515. Zürich, 2009.
- Hinkley E.A., Zajkowski T. USDA forest service-NASA: Unmanned aerial systems demonstrations-pushing the leading edge in fire mapping // *Geocarto International*. 2011. V. 26. P. 103–111.
- Hodgson J.C., Baylis S.M., Mott R., Herrod A.H., Clarke R.H. Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific Reports*. V. 6, 22574. 2016. doi: 10.1038/srep22574.
- Hugenholtz C.H., Whitehead K., Brown O.W., Barchyn T.E., Moorman B.J., Leclair A., Riddell K., Hamilton T. Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): Feature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model // *Geomorphology*. 2013. V. 194. P. 16–24.
- Husson E., Ecke F., Reese H. Comparison of manual mapping and automated object-based image analysis of non-submerged aquatic vegetation from

- very-high-resolution UAS images // *Remote Sensing*. 2016. V. 8. № 9. P. 724; doi: 10.3390/rs8090724.
- Ivosevic B., Han Y.-G., Cho Y., Kwon O. The use of conservation drones in ecology and wildlife research // *Journ. of Ecology and Environment*. 2015. V. 38. P. 113–118.
- Ivosevic B., Han Y.-G., Kwon O. Monitoring butterflies with an unmanned aerial vehicle: current possibilities and future potentials // *Journ. of Ecology and Environment*. 2017. V. 41. № 12. doi: 10.1186/s41610-017-0028-1.
- Jagt B., Lucieer A., Wallace L., Turner D., Durand M. Snow depth retrieval with UAS using Pphotogrammetric techniques // *Geosciences*, 2015. V. 5. P. 264–285. doi: 10.3390/geosciences5030264.
- James M.R., Robson S. Mitigating systematic error in topographic models derived from UAV and ground-based image networks // *Earth Surface Processes and Landforms*. 2014. V. 39. P. 1413–1420. doi: 10.1002/esp.3609.
- Jones G.P., Pearlstine L.G., Percival H.F. An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research // *Wildlife Society Bulletin*. 2006. V. 34. P. 750–758/
- Laliberte A.S., Rango A. Texture and scale in object-based analysis of subdecimeter resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery // *IEEE Transaction Geoscience Remote Sensing*. 2009. V. 47. P. 761–770.
- Lee S.J., Choi Y.S. Topographic survey at small-scale open-pit mines using a popular rotary-wing unmanned aerial vehicle (drone) // *Tunnel and Underground Space*. 2015. V. 25. P. 462–469.
- Lejot J., Delacourt C., Piégay H., Fournier T., Trémélo M.-L., Allemand P. Very high spatial resolution imagery for channel bathymetry and topography from an unmanned mapping controlled platform // *Earth Surface Proc. Land*. 2007. V. 32. P. 1705–1725.
- Linchant J., Lisein J., Semeki J., Lejeune P., Vermeulen C. Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges // *Mammal Review*. 2015. V. 45. P. 239–252,
- Merino L., Caballero F., Martínez-de-Dios J.R., Maza I., Ollero A. An unmanned aircraft system for automatic forest fire monitoring and measurement // *Journ. Intell. Robot. System*. 2011. V. 65. P. 533–548.
- Niethammer U., Rothmund S., James M.R., Travelletti J., Joswig M. UAV-based remote sensing of landslides // *International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing Spatial Infoation Science*. 2010. V. 38. P. 496–501.
- Pastor E., Barrado C., Royo P., Santamaria E., Lopez J., Salami E. Architecture for a helicopter-based unmanned aerial systems wildfire surveillance system // *Geocar-to Intern*. 2011. V. 26. P. 113–131.
- Sarda-Palomera F., Bota G., Vinolo C., Pallares O., Sazatornil V., Brotons L., Gomariz S., Sarda F. Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems // *Ibis –International Journal of Ornithology*. 2012. V. 154. C. 177–183.
- Siebert S., Teizer J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an unmanned aerial vehicle (UAV) system // *Automation in Construction*. 2014. V. 41. P. 1–14.

- Stefanik K.V., Gassaway J.C., Kochersberger K., Abbott A.L. UAV-based stereo vision for rapid aerial terrain mapping, GISci // Remote Sensing. 2011. V. 48. P. 24–49.
- Turner D., Lucieer A., Malenovsky Z., King D., Robinson S. Spatial co-registration of ultra-high resolution visible, multispectral and thermal images acquired with a micro-UAV over Antarctic moss beds // Remote Sensing. 2014. V. 6. № 5. P. 4003–4024.
- Vasterling M., Meyer U. Challenges and opportunities for UAV-Borne thermal imaging // Thermal Infrared Remote Sensing / Eds. Kuenzer C., Dech S. V. 17. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2013. P. 69–92.
- Werner D. Fire drones // Aerospace American. 2015. V. 53. P. 28–31.
- Zajkowski T.J., Dickinson M.B., Hiers J.K., Holley W., Williams B.W., Paxton A., Martinez O., Walker G.W. Evaluation and use of remotely piloted aircraft systems for operations and research – RxCADRE 2012 // Intern. Journ. Wildland Fire. 2016. V. 25. P. 114–128.
- Zweig C.L., Burgess M.A., Percival H.F., Kitchens W.M. Use of unmanned aircraft systems to delineate fine-scale wetland vegetation communities // Wetlands. 2015. V. 35. P. 303–309.

A.A. Medvedev, N.A. Alekseenko

PERSPECTIVES FOR THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES (UAV) FOR LARGE-SCALE THEMATIC MAPPING

The rapid evolution of remote sensing means and methods, including UAV, places on the agenda the development of techniques for the processing and implementation of new data sources. Large-scale mapping has always been based on aerial photographs, which allow obtaining high-resolution images. The advent of relatively cheap UAV's provided an opportunity to researchers in different subject areas tools to make own aerial images. However, there is a gap between application and obtaining final results, which is due to the lack of methods for in-depth thematic image processing. Often, researchers use only images from UAV to create photo plans of terrain or digital elevation models, but only a few subject image to thematic processing using methods for automated interpretation. This contribution is focused on the possibilities and limitations of using UAV for large-scale mapping in various subject areas to obtain final thematic maps.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Абдуллин Ринат Камилевич – ассистент кафедры картографии и геоинформатики Пермского государственного национального исследовательского университета

E-mail: rinaha-26@mail.ru

Алексеев Наталья Анатольевна – кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: valtuz@mail.ru

Аляутдинов Али Раисович – старший научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: ali_alia@mail.ru

Андреева Татьяна Александровна – старший преподаватель кафедры картографии и геоинформатики Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета

E-mail: t.andreeva@spbu.ru, chippo_@mail.ru

Асоян Долорес Самуэловна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории картографии Института географии РАН

E-mail: ds-asoyan@yandex.ru

Балдина Елена Александровна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: baldinaea@yandex.ru

Вахнина Ольга Васильевна – научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: vachnina-ov@yandex.ru

Гайда Виктория Викторовна – магистрант кафедры физической географии и геоинформационных систем географического факультета Алтайского государственного университета

E-mail: gaida.viktoriya@mail.ru

Голубева Елена Ильинична – доктор биологических наук, профессор, кафедра рационального природопользования географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: egolubeva@gmail.com

Грищенко Михаил Юрьевич – кандидат географических наук, научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: m.gri@geogr.msu.ru

Ефремов Григорий Александрович – аспирант географического факультета Алтайского государственного университета

E-mail: efremov901@mail.ru

Зимин Михаил Викторович – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: ziminmv@mail.ru

Золотова Татьяна Ивановна – старший преподаватель кафедры картографии и геоинформатики Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета

E-mail: t.zolotova@spbu.ru, 47tanya@list.ru

Каргашин Павел Евгеньевич – кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: p.e.kargashin@mail.ru

Карпачевский Андрей Михайлович – аспирант кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: karpach-am@yandex.ru

Котова Татьяна Викторовна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник НИЛ комплексного картографирования географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: tkot@geogr.msu.ru

Кошель Сергей Михайлович – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: skoshel@geogr.msu.ru

Кошкарёв Александр Владимирович – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геоморфологии Института географии РАН

E-mail: akoshkarev@yandex.ru

Кравцова Валентина Ивановна – доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: valentinamsu@yandex.ru

Литвинова Мария Владимировна – ассистент кафедры картографии и геоинформатики Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета

E-mail: *m.litvinova@spbu.ru, an-lubim@yandex.ru*

Лурье Ирина Константиновна – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: *lurie@mail.ru*

Медведев Андрей Александрович – кандидат географических наук, заведующий лабораторией картографии Института географии РАН

E-mail: *a.a.medvedeff@gmail.com*

Микляева Инесса Михайловна – кандидат географических наук, доцент кафедры биогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: *inessa-miklyaeva@yandex.ru*

Михайлюкова Полина Геннадиевна – кандидат географических наук, ведущий инженер лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: *polinam_20@mail.ru*

Михеева Анна Игоревна – кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: *arvin2@yandex.ru*

Морозова Александра Владимировна – аспирант кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: *aleksandra.v.morozova@yandex.ru*

Новаковский Богуслав Августович – доктор географических наук, профессор, заведующий лабораторией цифровой картографии и фотограмметрии кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: *dcaph@mail.ru*

Нырцов Максим Валерьевич – доктор технических наук, профессор кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, профессор РАН

E-mail: *nyrtsovmaxim@geogr.msu.ru*

Петрова Ирина Федоровна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории картографии Института географии РАН

E-mail: *shushkovo@mail.ru*

Прасолова Анна Ивановна – кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: prasolova.geo@yandex.ru

Прохорова Елена Андреевна – кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: eaprohorova@mail.ru

Пьянков Сергей Васильевич – доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой картографии и геоинформатики Пермского государственного национального исследовательского университета

E-mail: pyankovsv@gmail.com

Рафикова Юлия Юрьевна – кандидат географических наук, научный сотрудник НИЛ возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: ju.rafikova@gmail.com

Ротанова Ирина Николаевна – кандидат географических наук, доцент кафедры физической географии и геоинформационных систем географического факультета Алтайского государственного университета

E-mail: rotanova07@inbox.ru

Самсонов Тимофей Евгеньевич – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией автоматизации кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: tsamsonov@geogr.msu.ru

Семин Владимир Николаевич – научный сотрудник кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: vnsemin@mail.ru

Трошко Ксения Анатольевна – аспирант кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: pianistka_07@mail.ru

Тульская Надежда Игоревна – кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: tnadya@mail.ru

Тутубалина Ольга Валерьевна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: olgatut@mail.ru

Ушакова Людмила Алексеевна – кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: la.ushakova@mail.ru

Харьковец Евгений Георгиевич – старший научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: e_x@mail.ru

Хромова Татьяна Емельяновна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник отдела гляциологии Института географии РАН

E-mail: tkhromova@gmail.com

Чалова Екатерина Романовна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: ekar28@yandex.ru

Чистов Сергей Владимирович – кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

E-mail: svchistov@mail.ru

Шихов Андрей Николаевич – кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики Пермского государственного национального исследовательского университета

E-mail: shikhovan@gmail.com

Энтин Андрей Львович – аспирант кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова

E-mail: aentin@geogr.msu.ru

Научное издание
ВОПРОСЫ ГЕОГРАФИИ

Сборник 144

КАРТОГРАФИЯ В ЦИФРОВУЮ ЭПОХУ

*Утверждено к печати
Ученым советом Института географии РАН*

На обложке:

*Трёхмерная модель Хибинского горного массива (высотные данные ASTER GDEM,
снимок Landsat 8, картографические данные OpenStreetMap)*

Оригинал-макет выполнен П.Р. Накаловым
Рисунки подготовлены Л.В. Набоковой

Подписано к печати 26.12.17

Формат 60 × 90^{1/16}.

Печать офсетная

Усл. печ. л. 27

Тираж 150 экз. Заказ № 17-2028

Русское географическое общество
Штаб-квартира Русского географического общества в Москве
109012, Москва, Новая пл., 10, стр. 2
e-mail: rgo@rgo.ru
www.rgo.ru

ООО «Издательский дом «Кодекс»
г. Москва, Графский переулок, д. 9, стр. 2.
Отпечатано в ООО «ТИПОГРАФИЯ КЕМ»
г. Москва, Графский переулок, д. 9, стр. 2.
Тел.: (495) 933-59-00



9 785950 082412