

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
Российской академии наук



ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ

Сборник материалов
XV всероссийской молодежной научной школы-конференции
«Меридиан»

Учебный центр НИУ ВШЭ «Вороново»
8–11 ноября 2023 г.

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ РАН
Москва ~ 2023

УДК [910+911](082)
ББК 26.8я431
И88

Рецензенты:
к.б.н. Ю. В. Конопляникова
к.г.-м.н. А. А. Усачева

Программный комитет:

д.г.н., член-корр. РАН О. Н. Соломина (председатель),
к.г.н. А. Л. Захаров, к.г.н. А. А. Гриценко, А. С. Добрянский, к.г.н. А. В. Долгих,
С. В. Иванов, к.б.н. Ф. Г. Курбанова, к.п.н. А. И. Крылов, к.г.н. В. М. Матасов, к.г.н.
А. В. Шелудков, А. И. Рудинская, В. Ю. Украинцев

Оргкомитет:

А. С. Добрянский (председатель),
к.г.н. А. Л. Захаров, С. В. Иванов, Ю. О. Карпова, к.п.н. А. И. Крылов, к.г.н.
Ф. Г. Курбанова, И. Ю. Петрова, А. И. Рудинская, Л. В. Шашерина, А. Г. Шматова

Исследования природы и общества в условиях глобальных трансформаций : сб. мат. XV всерос. молодежной науч. школы-конференции «МЕРИДИАН» / ред. А. Л. Захаров [и др.]. — М. : ИГ РАН, 2023. — 278 с., ил. — ISBN 978-5-89658-075-1. — DOI 10.15356/Meridian2023

В сборник вошли материалы, посвященные изучению:

- реконструкции динамики и эволюции компонентов природной среды
- локальных, региональных и глобальных измерений социально-экономических и политических процессов
- геоэкологических и социально-экономических аспектов устойчивого развития территорий
- междисциплинарных, дистанционных и полевых методов географических исследований
- физической географии: современные тенденции

Studies of nature and society in the context of global transformations : col. works from 15th All-Russ. young scientists conference 'MERIDIAN' / ed. A. L. Zakharov [et al.] — М. : IG RAS, 2023. — 278 p., il. — ISBN 978-5-89658-075-1. — DOI 10.15356/Meridian2023

Present information package contains papers of young scientists in the area of:

- Reconstruction of the dynamics and evolution of natural environment components
- Local, regional and global dimensions of socio-economic and political processes
- Geo-ecological and socio-economic aspects of sustainable development of territories
- Interdisciplinary, remote and field methods of geographical research
- Physical geography: modern trends

ISBN 978-5-89658-075-1
DOI 10.15356/Meridian2023

© Авторы статей, 2023
© Институт географии РАН, 2023

Содержание

Агафонова З. П., Никитин С. А., Носенко Г. А. Увеличение скорости сокращения ледников Центрального Кавказа	8
Александрова А. И., Карасев А. С. География поставок ключевых экспортных товаров на примере Индонезии, Малайзии и Филиппин	10
Алексеев И. И., Четверова А. А., Швед Я. В. Органическое вещество и биогенно-абиогенные взаимодействия в почвах оазисов Восточной Антарктиды	17
Андреев Р. А., Новенко Е. Ю. Реконструкции лесистости и климатических параметров Средней Сибири в голоцене	23
Аннамухамедова А., Некрасова Д., Носова М. Б., Пименов В. Е., Камыгина А. В., Ершова Е. Г. Реконструкция растительности водораздела рек Жуковка и Поноша (окрестности Звенигородской биологической станции МГУ, Московская область) в голоцене: предварительные результаты	30
Бакшеева Т. В., Чебыкина Е. П., Резников А. И. Древесный покров Санкт-Петербурга и его место в территориальном планировании и градостроительном зонировании	33
Бичурин Р. Р., Бушуева И. С., Воробьёв М. А., Джалиашвили Т. Г., Долгова Е. А., Михаленко В. Н., Семеняк Н. С. История возникновения пожаров в лиственных лесах полуострова Камчатка по данным дендрохронологии и спутникового зондирования	40
Гасанов Р. Ш., Карпачевский А. М. Геоинформационное моделирование транспортной доступности населенных пунктов на примере Калининградской области	45
Глухodedова Л. А., Клешняк И. Д. Исследование бывшей мелиоративно-дренажной системы в Калининградской области	50
Гонюхов П. О. Влияние транспортной доступности на экономическое благосостояние городских районов	53
Горбунова Ю. А., Ганюшкин Д. А. Современное оледенение Южно-Чуйского хребта и динамика данного оледенения с середины XX века	56

Долгова Е. А., Семеняк Н. С., Джалиашвили Т. Г., Бичурин Р. Р., Соломина О. Н., Михаленко В. Н., Воробьев М. А. Дендроклиматические исследования на полуострове Камчатка	63
Еремеева И. Л. Разработка географически стратифицированного набора обучающих и проверочных выборок для автоматизированной оценки состояния древесной и кустарниковой растительности Центральной Азии	70
Ефимова М. О., Панин А. В., Деев Е. В., Сосин П. М., Лукьянычева М. С., Курбанов Р. Н. О времени существования ледника в верхнем течении р. Пяндж на Юго-Западном Памире	81
Жанарбаев Ч. Б., Карпачевский А. М. Анализ транспортной доступности с использованием данных в формате GTFS	86
Заславская Е. С., Зимин М. В. Выявление поражённых короедом-типографом участков еловых лесов путём классификации космических изображений методом максимальной энтропии с обучающей выборкой	91
Захаров А. Л., Константинов Е. А. Морфолитогенез в крупных ориентированных западинах Ейского полуострова на примере Воронцовской пади в позднем плейстоцене	97
Иванов Я. Д. Стратиграфическое положение среднепалеолитических комплексов Русской равнины	100
Игнатенко В. А. Влияние Цемзаводов Новороссийска на эко-среду города. Возможная рекультивация земель в местах добычи мергеля	105
Карасева В. С., Селезнева Ю. М., Бирюкова И. И. Особенности пыления березы в г. Рязани	110
Корнилов Д. А., Прохорова Е. А. Разработка классификации городских путей сообщения для картографирования велотранспорта	117
Кузнеченко П. А., Алексеенко Н. А., Медведев А. А. Реконструкция динамики берегов озера Севан в условиях активного антропогенного освоения	124

Куприянова М. Д., Русаков А. В., Сеницын А. А. Мезоморфологическая диагностика почв палеолитических стоянок Костёнки-14 II, IVw (MIS 3)	127
Курашев Д. Г., Манасыпов Р. М. Оптические характеристики растворенного органического углерода в поровых водах отложений термокарстовых озер Западной Сибири	130
Лебедев Я. О., Гнеденко А. Е. Применение БПЛА при создании ортофотопланов территории мониторинга современных геоморфологических процессов в Арктической зоне (на примере с. Хатанга, Красноярский край)	135
Леготин М. Е. Систематические и палеоэкологические исследования рода <i>Cladophlebis</i> — ископаемых папоротников норийско-рэтского этапа развития Челябинского грабена.....	137
Лобков В. А., Шоркунов И. Г., Гаранкина Е. В., Шереметская Е. Д., Шевченко В. А. Магнитные методы в изучении дневных и погребенных почв северной перигляциальной зоны Русской равнины	143
Лукьянычева М. С., Аржанников С. Г., Аржанникова А. В., Чеботарев А. А., Торговкин Н. В., Семиколенных Д. В. Новые данные о хронологии плейстоценового оледенения хребта Черского.....	146
Макарова Е. А., Мазей Н. Г., Чепурная А. А., Новенко Е. Ю. Эволюция болотных комплексов северо-запада плато Путорана	149
Манакова О. И., Курбанова Ф. Г., Константинов Е. А. История почвообразования на равнинах среднего Дона за последние 130 тыс. лет	156
Миронова М. А., Сизов О. С. Динамика криогенных оползней на территории западного побережья полуострова Ямал	161
Моргунова А. А., Рудинская А. И., Константинов Е. А. Реконструкция обстановок осадконакопления в голоцене в озере Погоново Воронежской области.....	164
Морозова П. А., Володин Е. М., Ушаков К. В. Палеомоделирование как метод палеогеографических исследований: эксперименты с использованием модели климата INMCM4.8	166

Паутова Е. А., Курочкин Ю. Н. Особенности режима экстремальных осадков и их связь с наводнениями на Западном Алтае.....	171
Петров О. Г. Получение характеристик лесного покрова на уровне отдельных деревьев по фотограмметрическим облакам точек.....	180
Пименов В. Е., Ершова Е. Г., Пачковская И. Е., Пастухова Ю. А. Значение небольших торфяников как компонентов культурных ландшафтов прошлого: реконструкция истории освоения и изменения природной среды резервата «Масловская лесная дача» (Одинцовский ГО, Московская область) в позднем голоцене	183
Посаженникова В. С., Гаранкина Е. В., Шоркунов И. Г., Качалов А. Ю. Возможности литологического анализа кернов шнеково-свайного бурения.....	186
Пронина А. В., Сырых Л. С., Назарова Л. Б., Греков И. М., Дружинина О. А. Таксономический состав комаров-звонцов в озерных отложениях разреза Куликово (Калининградская область)	189
Рассолова А. А., Казуров И. В. Фациальная изменчивость Лужско-Плюсского ландшафта озёрной-ледниковой равнины (Среднее Полужье)	194
Рудинская А. И., Константинов Е. А., Гедминиене Л. Реконструкция палеоэкологических условий озера Плещеева в позднем голоцене	198
Рыжов А. В. Влияние антропогенных факторов на дыхание пахотных почв Длительного полевого опыта ТСХА	203
Сивцев Д. Е., Платонов И. А., Торговкин Н. В. Результаты исследования разрушенного булгунняха в Чурапчинском районе (Центральная Якутия): строение и геохимия.....	210
Смирнова В. В., Рудинская А. И., Беляев Ю. Р., Гаранкина Е. В., Шеремецкая Е. Д., Беляев В. Р. Свидетельства голоценовых селевых событий в долине Алявумйока (Западные Хибины).....	217

Тихонов Д. Н., Карпачевский А. М., Королева Т. В. Постпирогенное восстановление луговой растительности по спутниковым снимкам Sentinel-2.....	223
Тобратов С. А., Железнова О. С., Шилкина Ю. Н. Экспедиционное зондирование как метод исследования атмосферно-геоморфологических взаимосвязей в пограничном слое атмосферы (на примере ландшафтов центра Восточно-Европейской равнины)	227
Ужегов М. В. Создание моделей направлений стока низкого разрешения на основе векторного представления гидрографической сети	234
Украинцев В. Ю., Панин А. В., Захаров А. Л., Кириллова И. В., Успенская О. Н., Янина Т. А. Новые данные о строении речных долин северного Прикаспия.....	240
Фролова Л. С., Шоркунов И. Г., Гаранкина Е. В., Шереметская Е. Д., Лобков В. А. Реликты позднеплейстоценового педогенеза в послеледниковых отложениях Суздальского плато	247
Чеховских А. М., Поповнин В. В. Моделирование поля аккумуляции горного ледника на основе данных многолетних наблюдений	249
Чулей А. Д., Мазей Н. Г., Цыганов А. Н., Мазей Ю. А. Палеоэкологическая реконструкция динамики болотной экосистемы в северной подзоне тайги (Кольский полуостров) в голоцене по данным спорово-пыльцевого, ботанического и ризоподного анализов.....	256
Шатунов А. Е., Новенко Е. Ю., Мазей Н. Г. Влияние пожаров на эволюцию лесных и болотных геосистем Центральной Эвенкии в голоцене	260
Ширяев М. А., Балдина Е. А. Изучение факторов, влияющих на интерферометрическую когерентность Sentinel-1 на территории острова Визе, в целях использования радиолокационных интерферометрических данных для ландшафтного картографирования	268
Шматова А. Г. Криогенные микроструктуры почвенного покрова европейских тундр: от типизации к классификации.....	272

Увеличение скорости сокращения ледников Центрального Кавказа

З. П. Агафонова¹, С. А. Никитин², Г. А. Носенко²

¹НИУ ВШЭ, Москва, zpagafonova@edu.hse.ru

²Институт географии РАН, Москва, gnosenko@gmail.com

Исследование процессов глобального потепления приобрело большое значение особенно в настоящее время, когда одним из наиболее заметных проявлений изменения климата является таяние ледников и связанные с этим негативные последствия. Результаты оценок скорости изменений размеров ледников Кавказа, выполненных в работах предыдущих исследователей [1, 2], показывают постепенный рост скорости сокращения площади ледников на протяжении последних десятилетий. Цель данной работы — подтвердить устойчивость этой тенденции на примере ледников Центрального Кавказа и оценить величину скорости сокращения их площади на коротком временном интервале — с момента создания последнего Каталога ледников России (2018 г.) до настоящего времени (2022 г.).

Для исследования произошедших изменений использовались космические снимки Sentinel-2 полученные в конце периода абляции 2022 года. Границы ледников дешифрировались ручным методом в программной среде ArcGIS и сравнивались с данными Каталога 2018 года [3]. Однородность использовавшихся массивов данных и методов их обработки обеспечивала сопоставимость полученных результатов. Оценка величины погрешности дешифрирования проводилась методом повторных оцифровок и буферным методом. Выполненное исследование позволило оценить величину изменения площади ледников Центрального Кавказа с 2018 по 2022 г. Площадь 985 ледников составила $669,9 \text{ км}^2 \pm 42,34 \text{ км}^2$, сокращение за четыре года (2018–2022 г.) достигло 5,11% или $1,28\% \text{ год}^{-1}$.

Сравнение полученных результатов с данными предыдущих инвентаризаций позволяет сделать вывод об увеличении скорости сокращения ледников на Центральном Кавказе за последние 4 года. Возможные причины этого феномена заключаются в наблюдаемом росте летних температур воздуха, при сохранении практически неизменных зимних осадков [2]; в увеличении радиационного баланса за счёт коротковолновой составляющей [4]; в уменьшении альбеда поверхности ледников,

увеличивающем интенсивность таяния и происходящем из-за эпизодических (но мощных) выпадении пыли из пустыни Сахара [5], а также образующейся в результате ветровой эрозии склонов, поверхность которых увеличивается за счёт сокращения площади ледников.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения повторных инвентаризаций с более коротким периодом, чем предыдущие, чтобы не пропустить момент исчезновения ледников и быть готовым к возможным последствиям этого события.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tielidze L. G. Glacier change over the last century, Caucasus Mountains, Georgia, observed from old topographical maps, Landsat and ASTER satellite imagery // *The Cryosphere*. 2016. V. 10, № 2. P. 713–725.
2. Tielidze L. G., Nosenko G. A., Khromova T. E., Paul F. Strong acceleration of glacier area loss in the Greater Caucasus between 2000 and 2020 // *The Cryosphere*. 2022. V. 16, № 2. P. 489–504.
3. Хромова Т. Е., Носенко Г. А., Глазовский А. Ф., Муравьев А. Я., Никитин С. А., Лаврентьев И. И. Новый Каталог ледников России по спутниковым данным (2016–2019 гг.) // *Лёд и Снег*. 2021. Т. 61, № 3. С. 341–358.
4. Toropov P. A., Aleshina M. A., Grachev A. M. Large-scale climatic factors driving glacier recession in the Greater Caucasus, 20th–21st century // *International Journal of Climatology*. 2019. V. 39, № 12. P. 4703–4720.
5. Kutuzov S., Legrand M., Preunkert S., Ginot P., Mikhalenko V., Shukurov K., Poliukhov A., Toropov P. History of desert dust deposition recorded in the Elbrus ice core // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019. V. 2019. P. 1–26.

География поставок ключевых экспортных товаров на примере Индонезии, Малайзии и Филиппин

А. И. Александрова^{1, *}, А. С. Карасев^{1, **}

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
географический факультет, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1,

^{*}alkssssss@yandex.ru, ^{**}karasyovalex@yandex.ru

Индонезия, Малайзия и Филиппины представляют особый интерес для развития транспортно-логистических услуг среди межрегиональных и международных компаний-инвесторов. Физико-географическое положение изучаемых стран обуславливает открытость внешним участникам торгового рынка благодаря расположению на пересечении транспортных потоков между Восточной Азией и остальными макрорегионами мира. Отсутствие сухопутных путей между экономическими центрами государств определяет важность морских портов и терминалов в организации поставок. Залежи полезных ископаемых и места произрастания сельскохозяйственных культур формируют сырьевые базы, которые становятся начальным звеном в цепочках поставок. Различия в видах экспортируемых и импортируемых товаров и услуг способствуют диверсификации экономики Юго-Восточно-Азиатского региона, что становится конкурентным преимуществом, позволяющим в развитии поставок задействовать разнообразные виды продукции и подходы для торговли ими.

Говоря о географии поставок, важным моментом является демонстрация не только направления международной торговли из рассматриваемых государств, но и то, где на территории данных стран размещены пункты, отвечающие за создание конечного продукта из промежуточного сырья, и, тем самым, как он увеличивает добавленную стоимость. Среди широкой номенклатуры отгружаемых товаров из этих стран основная нагрузка на транспортно-логистическую инфраструктуру связана с ограниченным числом наименований продукции. Поэтому в исследовании была разработана методика, где у каждого из трех государств отобраны ключевые товарные статьи экспорта, которые при сортировании по убыванию в сумме составляют более 50% экспорта страны [12]. Для рассматриваемых групп товаров в общем виде выстраиваются цепочки поставок с указанием места получения первичного сырья, его переработки / производства конечного продукта и пункта отправки

на экспорт (согласно схеме американского логиста М. Кристофера) [2]. Между каждым звеном учитываются основные виды транспорта и направления поставок, осуществляющие перевозку продукции между звеньями цепочки поставок. Для каждого звена учитывается корпоративная принадлежность компании, осуществляющей логистические процессы. Основными источниками информации о размещении этапов изготовления конечной продукции служат сведения из аналитических отчетов компаний по её производству и транспортировке. Полученные результаты представлены как в качестве выделения специфики каждой из стран, так и в рамках выявления черт сходства и различий между ними в контексте организации поставок.

Индонезия

Экспортная структура товаров Индонезии весьма диверсифицирована, в ней наблюдается отсутствие какого-либо доминирующего товара (9 ранжированных товарных групп, доля экспорта которых в сумме составляет >50%), а их отраслевая принадлежность вовлекает сельскохозяйственную отрасль специализации, а также горнодобывающую и обрабатывающую промышленность. Крупнейшие города о. Ява для экспортных отраслей «финишного» производства являются местом замыкания товарных цепочек добавленной стоимости, которые зарождаются на плантациях и месторождениях в отдаленных частях страны на других островах [4, 8]. Взаимосвязь между «регионами-донорами» и «регионами-производителями» осуществляется благодаря индонезийскому морскому судоходству. Товары, которые экспортируются в «сыром» виде (уголь, никель), формируют локальную замкнутую цепочку поставок вокруг рядом располагающихся центров добычи и отгрузки [1, 6]. Материалоемкое производство автомобилей, требующее кооперацию с большим количеством поставщиков деталей, некоторые из которых привозят комплектующие запчасти из-за рубежа, способствует близкому расположению цехов друг относительно друг друга. Как следствие, поставки организованы на короткие расстояния посредством малогабаритного грузового автотранспорта, а экспорт ввиду особенностей тары может быть реализован не только морским, но и воздушным транспортом [5].

Малайзия

Малайзия наряду с Индонезией имеет дифференцированную по отраслям хозяйства структуру экспорта, однако доля электронной и электротехнической промышленности существенно преобладает и составля-

ет 30% всего экспорта страны. Ввиду необходимости в тесной кооперации в технологически развитых регионах страны, что характерно для данной отрасли, локальные фабрики концентрируются в пригородах крупнейших агломераций, прежде всего, Куала-Лумпура, Пинанга и Джохор-Бару. При этом распространены перевозки оборудования между упомянутыми городами. Места добычи нефти и произрастания масличной пальмы не совпадают с локализацией центров переработки данных видов сырья из-за более развитой инфраструктуры, близости к транспортным путям и потребителю на западном побережье Малаккского п-ова. Поэтому порты становятся универсальным звеном цепочки поставок, замыкая на себе производственные и распределительные функции [10].

Филиппины

Как структура экспорта (комбинация сельскохозяйственной, горнодобывающей и обрабатывающей продукции), так и товарная специализация международных поставок Филиппин схожи с Малайзией, где также весомую долю отгружаемой продукции за рубеж составляет электроника и электротехника (до 40% всего экспорта государства). Компании, имеющие производственные мощности на Филиппинах, являются многонациональными корпорациями из разных стран мира (Intel, Texas Instruments, Analog Devices, ON Semiconductor Corporation — США, южнокорейский Samsung Electronics и японский Murata Manufacturing). Заводы корпораций расположены в экономических зонах и промышленных парках или в агломерации Манилы. Такая взаимозависимость цехов на различных этапах сборки обуславливает, как и в Малайзии, использование автотранспорта для поставок в рамках логистики «последней мили»¹ [9, 11]. Внутри другой категории значимых экспортных товаров Филиппин — продукции медно-никелевой промышленности — существуют различия, связанные с конфигурацией цепочек поставок и корпоративной принадлежностью отраслевых контрагентов [7, 13]. Компании-поставщики для перевозки скоропортящихся продуктов питания

¹ Логистика «последней мили» — последний этап доставки товаров от склада или центрального распределительного пункта до конечного потребителя. Она становится особенно актуальной в эпоху интернет-торговли, так как онлайн-покупатели ожидают быструю и надежную доставку товаров прямо к своему дому или месту работы.

используют суда с рефрижераторными контейнерами, что обуславливает привлечение специализированных компаний в сфере «холодной» логистики [3].

Выводы

Для данных стран острова (полуостровов в контексте Малайзии) служат центрами координации этапов поставок и звеньев цепочки добавленной стоимости, где один из них выделяется как главный экономический центр, который стягивает материальные потоки промежуточной продукции и производит конечные товары. Однако в выбранных странах наблюдается концентрация ролей городов в качестве звеньев цепочек поставок вокруг портов. Наиболее крупные по грузообороту порты замыкают на себе материальные потоки нескольких групп экспортных товаров, а малые порты имеют монопрофильную специализацию на вывоз добывающей или сельскохозяйственной продукции. Для организации поставок данных товаров используется следующая схема: Получение первичного сырья — Доставка сухопутным транспортом на предприятие по переработке (при необходимости согласно технологическим требованиям) — Порт вывоза. Управление цепочкой поставок осуществляется компаниями, которые добывают или выращивают продукцию.

При экспорте продукции обрабатывающей промышленности портовые города становятся одновременно как пунктами приема сырья, имеющегося на внутреннем рынке или импортируемого из-за рубежа, так и местом отправки на экспорт. Причем если для черной и цветной металлургии характерна длинная цепочка поставок от места добычи до места выплавки, то для более технологичных отраслей свойственна концентрация производственных мощностей на небольшой территории и, как результат, развитие поставок по принципу «последней мили», которые затруднительно с достоверной точностью отследить. Организацию поставок на себя принимают международные и межрегиональные транспортно-логистические компании. Однако в медной промышленности наблюдается разделение обязанностей по перевозкам от месторождения к предприятию и на экспорт между национальными транспортными или добывающими компаниями и транснациональными логистическими корпорациями. Другим исключением в организации поставок является скоропортящаяся сельскохозяйственная продукция (в т. ч. бананы), где участвуют логистические компании, работающие в специализированной сфере «холодной логистики».

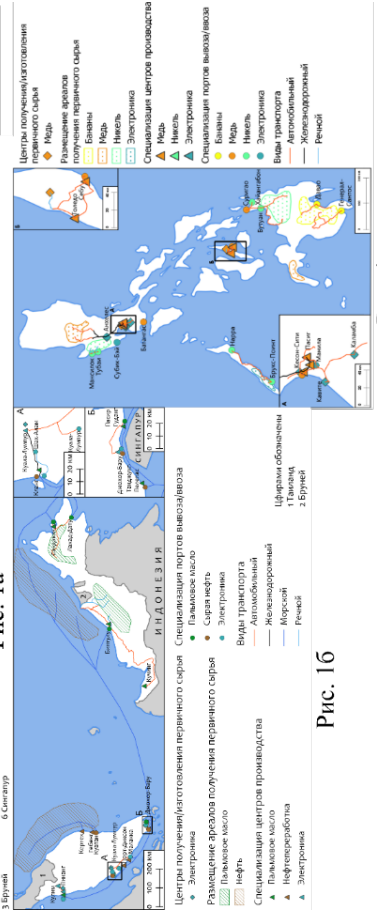
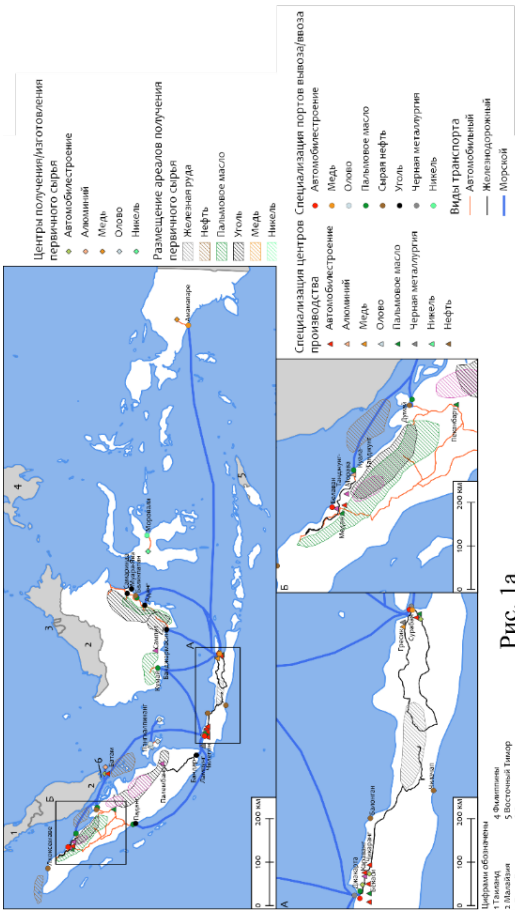


Рисунок 1. Организация цепочек поставок в:
а) Индонезии;
б) Малайзии,
в) Филиппинах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adachi T., Rosyid F. Forecasting on Indonesian Coal Production and Future Extraction Cost: A Tool for Formulating Policy on Coal Marketing // Natural Resources. 2016. Vol. 7, Iss. 12. P. 677–696.
2. Christopher M. Logistics and Supply Chain Management: Creating Value Adding Networks. Pearson UK : FT Press, 2005. 320 p.
3. Salvacion A. R. Effect of climate on provincial-level banana yield in the Philippines // Information Processing in Agriculture. 2020. Vol. 7, Iss. 1. P. 50–57.
4. SEI-PCS Indonesia palm oil v1.2 supply chain map : Data sources and methods Landscape [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://resources.trase.earth/documents/data_methods/SEI_PCS_Indonesia_palm_1.2_EN.pdf (дата обращения: 18.04.2023).
5. ASEAN Automotive Federation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.asean-autofed.com/> (дата обращения: 18.04.2023).
6. Global Energy Monitor. Indonesia and coal [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.gem.wiki/Indonesia_and_coal (дата обращения: 18.04.2023).
7. Independent Report on the Nickel Laterite Resource Agata North, Philippines [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://s1.q4cdn.com/531881216/files/doc_downloads/Agata-Nickle-Laterite-NI43-101-April-10-2013.pdf (дата обращения 18.04.2023).
8. Pertamina [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.pertamina.com/> (дата обращения: 18.04.2023).
9. Philippine Export Development Plan (PEDP) 2018-2022 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.dti.gov.ph/negosyo/exports/philippine-export-development-plan/> (дата обращения: 18.04.2023).
10. The Malaysia Advantage [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.petronas.com/mpm/investment-opportunities/the-malaysia-advantage> (дата обращения: 18.04.2023).
11. The Philippine Electronics Industry [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.seipi.org.ph/profile/about-the-industry/> (дата обращения: 18.04.2023).

12. United Nations Statistical Division (COMTRADE) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://comtradeplus.un.org/> (дата обращения: 30.10.2023)
13. Yumpu. Location Map of Operating Mines in the Philippines [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.yumpu.com/en/document/view/12193748/location-map-of-operating-mines-in-the-philippines> (дата обращения: 18.04.2023).

Органическое вещество и биогенно-абиогенные взаимодействия в почвах оазисов Восточной Антарктиды

И. И. Алексеев¹, А. А. Четверова¹, Я. В. Швед¹

¹Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38, alekseevivan95@gmail.com

Взаимодействие биотических и абиотических процессов остается одним из фундаментальных вопросов в исследовании экосистем Антарктиды. Изучение процессов первичного почвообразования в экстремальных условиях Антарктиды позволяет определять механизмы осуществления элементарных почвенных процессов на начальных стадиях биогенно-абиогенных взаимодействий. Биогенно-абиогенные взаимодействия в почвах Антарктиды, органическое вещество почвы было изучено с помощью разноуровневых подходов, от микроуровня до уровня полипедонов. Также были применены современные инструментальные методы элементного анализа и спектроскопии ядерного магнитного резонанса, а также высокоэффективного секвенирования клеток для установления основных особенностей функционирования микробных сообществ в условиях почв различных районов Восточной Антарктиды.

Показано, что в почвах Восточной Антарктиды в микростроении преобладает грубообломочный скелет и обильные пустоты, глинистые же частицы распределены в мелкоземе в основном диффузно. В поверхностных горизонтах изученных почв оазисов Восточной Антарктиды зачастую также формируются небольшие участки глинистой плазмы, в которых присутствуют признаки аккумуляции, подвижности, а также оптической ориентировки. Также отдельные минеральные зерна покрыты тонкими глинистыми кутанами и пленками, что также показывает подвижность глинистого материала. В микростроении почв Маритимной Антарктики широко представлена гумусоподобная плазма, которая может накапливаться на поверхности крупных зерен в виде гуано и плохо разложившегося орнитогенного материала, а также в виде органической коллоидной плазмы.

В поверхностных горизонтах изученных почв оазисов Восточной Антарктиды зачастую также формируются небольшие участки глинистой плазмы, которые обладают признаками аккумуляции, подвижности, а также оптической ориентировки. Также отдельные минеральные

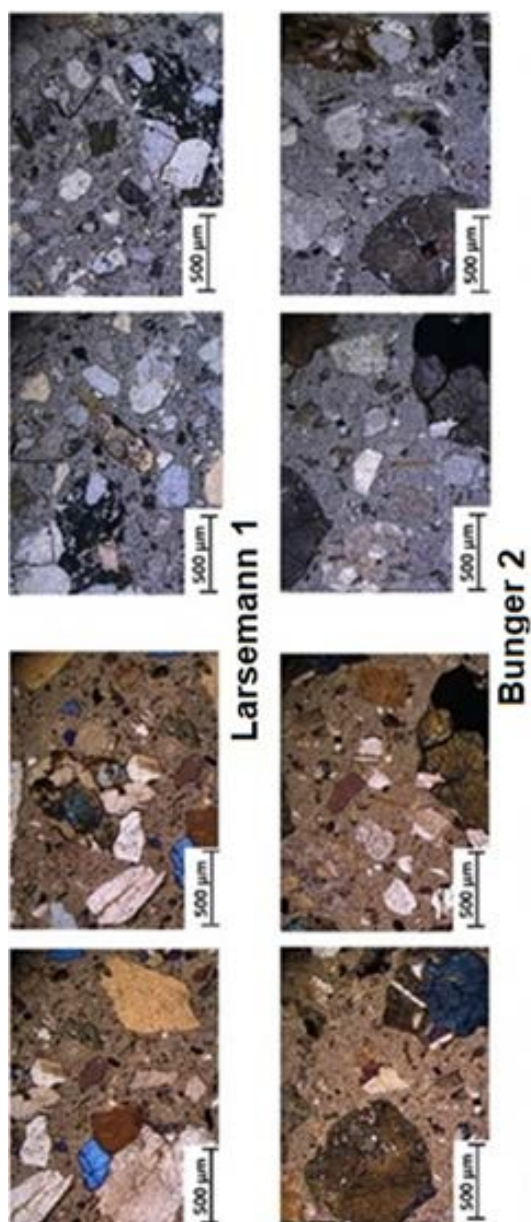


Рисунок 1. Микроморфологическое строение некоторых почв оазисов Восточной Антарктиды.
Слева — скрещенные николи, справа — параллельные николи.

зерна покрыты тонкими глинистыми кутанами и пленками, что также показывает подвижность глинистого материала. Микроморфологически почвы зашельфовых оазисов (Ширмахера, Холмы Бангера) отличаются от прибрежных оазисов Восточной Антарктиды формированием и перераспределением новообразований карбонатов.

В микростроении поверхностных горизонтов почв, развивающихся в условиях повышенной биологической активности в оазисах Бангера и Холмы Ларсеманн (Bunger 8, Larsemann 3), наблюдаются биопленки, покрывающие большую часть зерен кварца, полевого шпата, которые являются доминирующими минералами. Наличие этих микроструктур (биопленок) на поверхности минералов создает особую геохимическую среду, которая может стимулировать или замедлять процессы выветривания [1]. Биопленки, например, часто сильно влияют на изменение кислотности почвы: некоторые работы показали снижение значений pH до 3,0–4,0 [2], в то время как другие исследователи описали изменение pH с 3,4 до 9,0 с растворением зерен кварца [3] в пленках цианобактерий. Помимо этого, органоминеральные взаимодействия могут проявляться в формировании гумусовой плазмы, которая покрывает отдельные зерна скелетной фракции — такие взаимодействия характерны для поверхностных горизонтов почв, находящихся непосредственно под слоем мхов, либо же под альгобактериальными матами.

Молекулярный состав органического вещества почв изучался методом ядерного магнитного резонанса. Достоинством этого метода является возможность количественной оценки содержания групп структурных фрагментов и идентификация индивидуальных структурных фрагментов в молекулах гуминовых кислот. В молекулах изученных гуминовых кислот (ГК) представлены в основном алифатические группы (рис. 2). В то же время изученные ГК по этому показателю приближаются к фульвокислотам (ФК). В связи с этим можно сделать вывод о том, что в ГК преобладают периферические неароматические группы углеродных соединений. По атомным отношениям H/C–O/C гуминовые кислоты изученных почв Восточной Антарктиды также скорее ближе к фульвокислотам почв бореального пояса Северного полушария [4]. Ранее были показаны основные отличия ГК первичных почв Антарктиды и почв и ГК почв бореального пояса Северного полушария, в том числе отличия в элементном составе и атомных отношениях O/C, H/C и C/N, а также доминирование периферической части над ароматическими фрагментами в

ГК антарктических почв. Отношение C/N в изученных ГК почв довольно низкое, что связано с низким содержанием углерода в молекулах периферических соединений при существенной доле азота, что в целом свидетельствует о низкой степени гумификации органического вещества. ¹³C-ЯМР спектры ГК изученных почв (особенно в случае литозема из оазиса Холмы Бангера) хорошо согласуются с элементным составом ГК, обсужденным ранее в работе Beyer et al. [5]. Отмечается очень низкое содержание ароматической части в ГК. Это связано с крайне малым содержанием фенилпропановых структурных фрагментов, что объясняется доминированием органических остатков низших растений — мхов и лишайников, и согласуется с ранее опубликованными данными [5]. Также отмечается повышенное содержание алифатических фрагментов, что также сближает их с фульвокислотами.

Все изученные ГК почв в Восточной Антарктиде отличаются преобладанием алифатических структур. Помимо этого, в ГК содержатся значительные количества углеводов, полисахаридов, эфиров и аминокислот. При этом в ГК почв преобладают гидрофильные фрагменты. ¹³C-ЯМР спектры гуминовых кислот типичных почв в Маритимной и Восточной Антарктике различаются существенно. Так, для почв оазиса холмы Ларсеманн характерно пониженное содержание ароматических фрагментов по сравнению с почвами полуострова Файлдс. Это связано с различной длительностью периода биологической активности почв (20–30 суток в случае оазиса холмы Ларсеманн, и более 100 суток в случае полуострова Файлдс и острова Ардли). Немаловажно также количество жидких осадков — около 700 мм в жидком эквиваленте на островах Маритимной Антарктики и всего лишь 100–200 мм в оазисах Восточной Антарктиды. Следует отметить, что длительность биологической активности почв является решающим фактором, влияющим на степень гумификации органического вещества, и особенно на развитие «ядерной» части гуминовых кислот, представленной ароматическими фрагментами. По содержанию ароматических фрагментов гуминовые кислоты всех изученных антарктических почв следует признать сильно отличающимися от гуминовых кислот почв бореального пояса Арктики. Эти различия связаны с составом веществ-прекурсоров гумификации — в случае Антарктиды ввиду отсутствия высших растений и слабого развития растительных сообществ в некоторых ландшафтах гуминовые кислоты содержат очень мало фенилпропановых фрагментов.

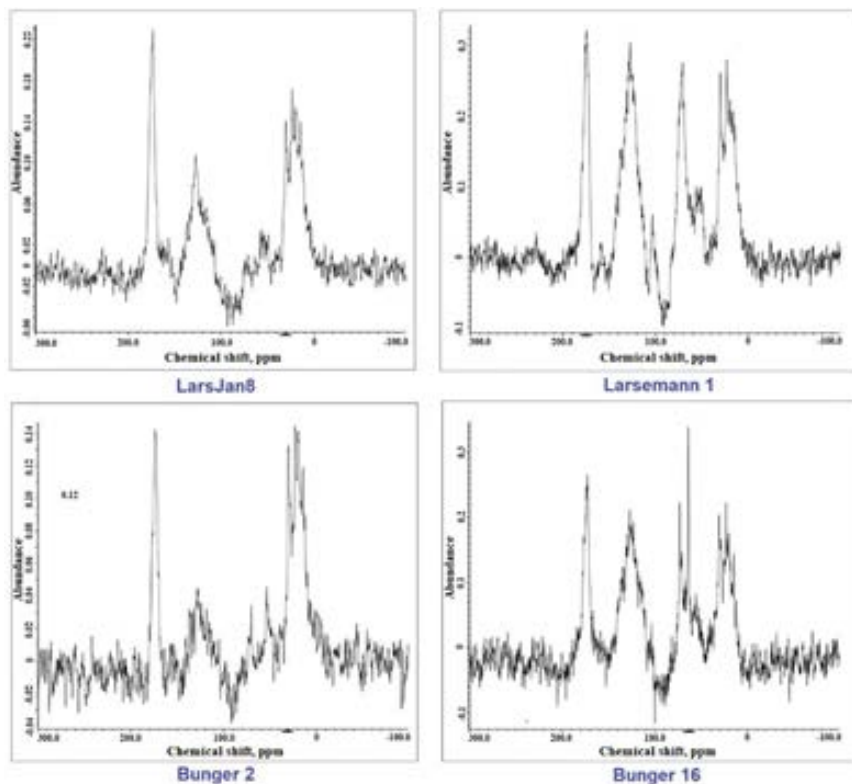


Рисунок 2. ^{13}C -ЯМР спектры изученных гуминовых кислот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mergelov N. Soils of Wet Valleys in the Larsemann Hills and Vestfold Hills Oases (Princess Elizabeth Land, East Antarctica) // Eurasian Soil Science. 2014. V. 47, № 9. P. 845–862.
2. Réos A., Wierchos J., Sancho L., Ascaso C. Acid microenvironments in microbial biofilms of Antarctic endolithic microecosystems // Environ. Microbiol. 2003. V. 5, № 4. P. 231–237.
3. Brehm U., Gorbushina A., Mottershead D. The role of microorganisms and biofilms in the breakdown and dissolution of quartz and glass // Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology. 2005. V. 219, № 1. P. 117–129.

4. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. Москва : Изд-во МГУ, 1990.
5. Beyer L., Knicker H., Blume H.-P., Bölter M., Vogt B., and Schneider D. Soil organic matter of suggested spodic horiozns in relic ornitogenic soils of coastal Continental Antarctica (Casey Station, Wilkes Land) in comparison with that of spodic soil horizons in Germany // Soil Sci. 1997. № 7. P. 518–527.

Реконструкции лесистости и климатических параметров Средней Сибири в голоцене

Р. А. Андреев^{1,2}, Е. Ю. Новенко^{1,2}

¹Географический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова,
кафедра физической географии и ландшафтоведения,

119234, Москва, мкр. Ленинские горы, 1, dorionio40@gmail.com

²Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

Средняя Сибирь относится к наиболее труднодоступным и малоизученным территориям России. Глобальные климатические изменения, протекающие в течение последних десятилетий, особенно ярко проявляются в высоких широтах, и природа Средней Сибири, большая часть которой расположена в криолитозоне, наиболее уязвима при потеплении климата. В этой связи реконструкция изменений растительности и климата в голоцене является актуальной задачей для понимания естественной динамики лесных экосистем в условиях меняющегося климата.

В рамках представленной работы мы реконструировали климатические характеристики (средние температуры января и июля, среднегодовая температура, среднегодовые осадки) и долю лесопокрытой площади в радиусе 20 км (лесистость) для двух ключевых участков в Средней Сибири, расположенных в окрестностях г. Игарка и пос. Тура (Красноярский край). Используются различные методы количественных реконструкций палеоклимата, основанные на взаимосвязи и сопоставлении климатических условий, современных и ископаемых спорово-пыльцевых спектров.

Модельная территория Игарка расположена на правом берегу Енисея, ключевой участок Тура — на плато Сыверма, в месте впадения р. Кочечум в Нижнюю Тунгуску. Ландшафты района Игарки представлены ледниковыми равнинами ермаковского возраста и бугристыми болотными комплексами, с прерывистой мерзлотой под северотаёжными елово-лиственничными лесами. Климат умеренный, континентальный. Средняя температура воздуха в июле 15,3 °С, в январе –27,7 °С, в год выпадает 516 мм осадков. Лесистость в Игарке составляет 0,65. Участок Тура находится в пределах базальтовых плато, расчленённых долинами рек со сплошной вечной мерзлотой под северотаёжными лиственничниками. Климат умеренный, резко континентальный, со средними

температурами июля +17 °С, января –36 °С, выпадает 365 мм осадков в год. Современная лесистость в радиусе 20 км составляет 0,95.

Для реконструкции лесистости и палеоклимата использованы следующие методы количественных палеореконокструкций: метод лучших аналогов (Modern Analogue Technique, MAT), основанный на математическом поиске для ископаемых спектров наиболее близких современных аналогов; взвешенная нелинейная регрессия (weighted averaging, WA), основанная на построении трансферной функции из расчёта экологических приуроченностей таксонов к климатическому показателю; регрессия методом наименьших частичных квадратов (weighted averaging partial least square, WAPLS), также строящая трансферную функцию, но с помощью иной статистического метода; а также метод случайного леса (Random Forest, RF), строящий модели на основе деревьев принятия решений. В таблице 1 приведены параметры использованных моделей.

Таблица 1. Параметры использованных моделей.

Метод	Параметры
Метод лучших аналогов (MAT)	Arithmetic mean, squared chord distance dissimilarity coefficient, number of analogues: 4
Взвешенная нелинейная регрессия (WA)	Monotonic deshrinking, tolerance downweighting and adjustment
Регрессия методом наименьших частичных квадратов (WAPLS)	3-component model
Случайный лес (RF)	Number of trees = 1000

Источником данных о современных спорово-пыльцевых спектрах выступает созданная база данных субфоссильных спорово-пыльцевых спектров для Средней Сибири (севернее 60° с. ш.). Она содержит 173 точки. В базе данных в виде таблицы для каждой точки отбора поверхностных проб помимо подсчетов пыльцы и спор приведена информация о климатических характеристиках (средняя температура июля, января, среднегодовая температура, °С; среднегодовые осадки, мм; лесистость в радиусе 20 км, %). Спорово-пыльцевые спектры 142 поверхностных проб взяты из базы данных Eurasian Modern Pollen Database-2 (EMPD-2, [1]). База данных охватывает территории окрестностей Норильска и плато Путорана, Северосибирскую низменность в районе Хатанги и Центральную якутскую низменность. Также в базу были добавлены результаты палинологического анализа поверхностных проб из районов Игарки, Туры, Туруханска и Ванавары (32 спектра), полученные в ходе выполнения

проекта РНФ 20-17-00043 [2]. Климатические показатели (за последние 30 лет) для данных точек взяты из базы данных МЦД-ВНИИГМИ для метеостанций Игарка, Тура, Туруханск и Ванавара [3].

Современная лесопокрытая площадь в радиусе 20 км определена на основе данных проекта WorldCover 2020 [4]. Они представляют собой слои ландшафтного покрова для территории почти всей суши с пространственным разрешением 10 м, классифицированные на основе данных со спутников Sentinel-1 и Sentinel-2. Независимая статистическая и визуальная оценка WorldCover показывает высокую точность проведённой классификации (82,1% для Азии, [9]). Определение лесистости в радиусе 20 км вокруг места отбора поверхностных проб выполнено в ПО «QGIS» версии 3.16, а также с помощью вспомогательной программы на языке R [5].

Оценка точности методов реконструкции (расчёт среднеквадратической ошибки предсказания, RMSEP) и их объясняющей способности (коэффициент детерминации R^2), а также подбор наиболее подходящих параметров моделей произведены методом перекрёстной проверки с исключением. Результаты проверки приведены в таблице 2.

Наивысшие результаты показывает MAT, имеющий преимущество перед другими методами по обоим показателям и для всех параметров. Для всех моделей наименьшие ошибки и небольшой их разброс, а также наивысшие коэффициенты детерминации получены для $T_{\text{июл.}}$, $T_{\text{ср. год}}$ показал относительно средний результат. Годовые осадки $P_{\text{год}}$ реконструированы хуже остальных показателей. Лесистость реконструирована всеми моделями с примерно одинаковой точностью. Для показателей $T_{\text{янв.}}$ и $T_{\text{ср. год}}$, а также $P_{\text{год}}$ MAT и RF показывают результаты лучше, чем WA и WAPLS. Коэффициенты детерминации для всех параметров у MAT и RF показывают высокую долю объяснённой дисперсии (от 74 до 87%). Однако сильная разница с другими моделями для $T_{\text{янв.}}$, $T_{\text{ср. год}}$ и $P_{\text{год}}$ вызывает сомнения в достоверности данных оценок, что требует дальнейших тестов. В целом, результаты проверки отражают способность использованных моделей надёжно отражать тренды динамики средней температуры июля и лесистости и несколько менее надёжно для $T_{\text{ср. год}}$.

Таблица 2. Результаты перекрёстной проверки с исключением (leave-one-out cross validation). **Полужирным** помечены наилучшие результаты.

Метод	Параметры									
	RMSEP					R2				
	Т _{июл}	Т _{январь}	Т _{ср. год}	Р _{год}	Лесистость	Т _{июл}	Т _{январь}	Т _{ср. год}	Р _{год}	Лесистость
Метод лучших аналогов (MAT)	1,09	2,18	0,92	49,8	0,18	0,84	0,78	0,87	0,81	0,68
Взвешенная нелинейная регрессия (WA)	1,24	3,33	1,43	79,2	0,18	0,78	0,48	0,68	0,47	0,66
Регрессия методом наименьших частичных квадратов (WAPLS)	1,15	3,17	1,5	86,3	0,18	0,81	0,53	0,65	0,39	0,66
Случайный лес (RF)	1,24	2,34	1,06	51,4	0,2	0,78	0,74	0,82	0,78	0,61

Перекрёстная проверка и реконструкции реализованы в виде скриптов на языке программирования R [5]. Для MAT использован пакет analogue [8], для WA и WAPLS — rioja [6], RF — пакет randomForest [7].

В качестве источника данных ископаемых спорово-пыльцевых спектров использованы результаты спорово-пыльцевого анализа разрезов торфяных болот в пределах ключевых участков: крупнобугристое болото в районе Игарки [2] и болото Горное (Тура). Радиоуглеродное датирование образцов из разреза проведено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН методом AMS. По радиоуглеродным датировкам построены модели вертикального прироста торфа, и с их помощью рассчитан возраст образцов для спорово-пыльцевого анализа. Реконструкции представлены на рисунках 1 и 2.

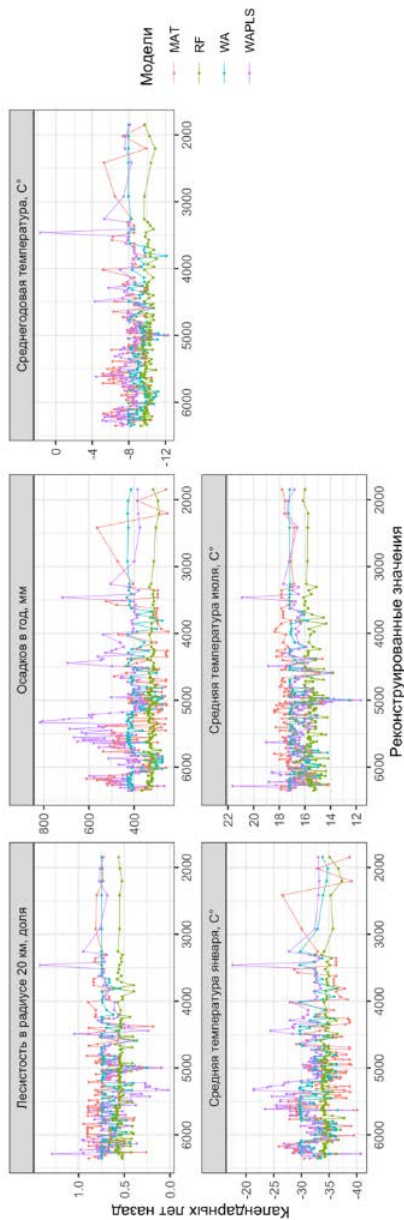


Рисунок 1. Реконструкции климатических характеристик и лесистости для участка Игарка.

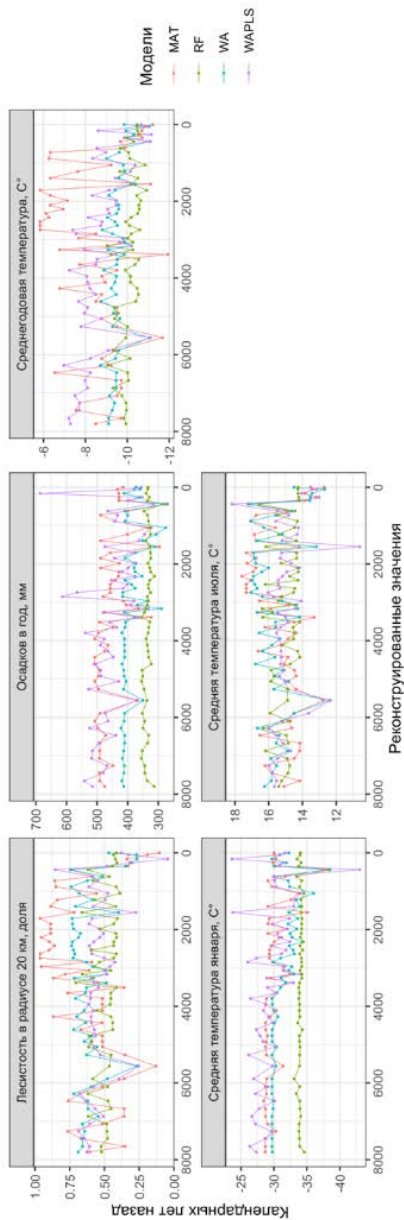


Рисунок 2. Реконструкции климатических характеристик и лесистости для участка Тура.

В результате работы проведена проверка и адаптация ряда моделей, реконструирующих климатические показатели и лесистость, создана база данных современных спорово-пыльцевых спектров. Оценка точности моделей методом перекрёстного анализа для средней температуры июля, среднегодовой температуры и лесистости показала приемлемые для реконструкций результаты. Получены палеореконструкции, отражающие развитие лесопокрытой площади и изменения климатических показателей для двух ключевых участков (Игарка и Тура).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Davis B. A. S., Chevalier M., Sommer P., Carter V. A., Finsinger W., Mauri A., Phelps L. N., Zanon M., Data Contributors. The Eurasian Modern Pollen Database (EMPD), version 2 // Earth System Science Data. 2020. Vol. 12, № 4. P. 2423–2445. 52.
2. Новенко Е. Ю., Мазей Н. Г., Куприянов Д. А., Шатунов А. Е., Андреев Р. А., Макарова Е. А., Бородин К. А., Руденко О. В., Прокушкин А. С., Волкова Е. М. Изменения растительности Приенисейской Сибири в последние 4700 лет: новые палеоэкологические данные из района Игарки (Красноярский край) // Геоморфология. 2022. Т. 53, № 3. С. 51–60.
3. Разуваев В. Н., Булыгина О. Н., Коршунова Н. Н., Клещенко Л. К., Кузнецова, В. Н., Трофименко Л. Т., Шерстюков А. Б., Швець Н. В., Давлетшин С. Г., Зверева Г. Н. Научно-прикладной справочник «Климат России» [Электронный ресурс]. Обнинск : ВНИИГМИ-МЦД, 2020. Режим доступа: <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn>
4. ESA WorldCover project, 2021 [Internet resource]. Access: <https://viewer.esa-worldcover.org/worldcover/>
5. Ihaka R., Gentleman R. R: A Language for Data Analysis and Graphics // Journal of Computational and Graphical Statistics. 1996. Vol. 5, № 3. P. 299–314.
6. Juggins S. rioja: Analysis of Quaternary Science Data. R package version 1.0-6, 2023 [Internet resource]. Access: <https://cran.r-project.org/package=rioja>
7. Liaw A, Wiener M. Classification and Regression by randomForest // R News. 2003. Vol. 2/3. P. 18–22 [Internet resource]. Access: <https://CRAN.R-project.org/doc/Rnews/>.

8. Simpson G. L., Oksanen J. analogue: Analogue and weighted averaging methods for palaeoecology. R package version 0.17-6, 2021 [Internet resource]. Access: <https://cran.r-project.org/package=analogue>
9. WorldCover Product Validation Report | V2.0. // ESA WorldCover, 2022 [Internet resource]. Access: https://worldcover2021.esa.int/data/docs/WorldCover_PVR_V2.0.pdf

Реконструкция растительности водораздела рек Жуковка и Поноша (окрестности Звенигородской биологической станции МГУ, Московская область) в голоцене: предварительные результаты

А. Аннамухамедова¹, Д. Некрасова¹, М. Б. Носова², В. Е. Пименов¹,
А. В. Камыгина, Е. Г. Ершова¹

¹Московский Государственный Университет им. М. В. Ломоносова,
119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, v-pimenov01@inbox.ru

²Главный ботанический сад РАН им. Цицина,
127276, Москва, Ботаническая ул., дом 4, mashanosova@mail.ru

На сегодняшний момент территория Московской области довольно подробно изучена палеоботаническими методами. В окрестностях Звенигородской биостанции были исследованы более 10 болот разного возраста и типа, в том числе олиготрофные Волковское и Шараповское болота, возраст которых позволяет реконструировать изменения природной среды за последние 8–9 тысячелетий. Тем не менее, значительная часть полученных данных так и остается неопубликованной. Следует отметить, что оба вышеупомянутых объекта оказались под воздействием человеческой деятельности, включая добычу торфа и нарушение целостности залежи, что характерно для большинства болот в окрестностях Звенигорода и в Московской области в целом. Этот факт подчеркивает важность поиска и изучения болот с ненарушенной торфяной залежью в данном регионе. В этом исследовании мы представляем предварительные результаты, полученные в рамках самостоятельных исследовательских работ студентов первого курса биологического факультета МГУ.

Объект исследования — олиготрофное болото, расположенное на водоразделе рек Жуковка и Поноша (55.672373° N, 36.597913° E), входящее в состав одноименного природного резервата. Болото не имеет явных признаков торфопорубок, таких как бровки или участки открытой воды, образовавшиеся в результате выемки торфа. Это берёзово-сосновое кустарничково-сфагновое болото размером 740×420 м, окруженное смешанным лесом.

В ходе работы были проведены спорово-пыльцевой и антракологический анализы торфа, а также определены потери при прокаливании и степень разложения торфа. Для установления возраста отложений

образцы отправлены на AMS ^{14}C -датирование (А. Е. Lalonde AMS Laboratory, University of Ottawa).

Ориентировочный возраст начала торфонакопления (примерно 9 тысяч лет) был определен путем сопоставления пыльцевых диаграмм с ближайшими изученными торфяниками. Так в нижних слоях (210–205 см) преобладает пыльца березы и сосны, присутствует пыльца карликовой березы и эфедры, высока доля пыльцы трав. Также для глубин 210 и 201 см были обнаружены мощные прослои угля. По всей видимости, торфонакопление началось после серии крупных пожаров в условиях локального понижения на водоразделе в период относительного потепления в раннем голоцене. В этот период это было низинное травяно-осоковое болото, окруженное березово-сосновым лесом. На глубине 200–203 см появляются пыльцевые зерна широколиственных пород, а существенное увеличение их доли происходит в образцах с глубины 170 см, что, видимо, соответствует потеплению в начале атлантического периода. На глубине 65–70 см происходит появление пыльцы ели в спектрах и одновременное уменьшение доли широколиственных, ассоциированное с увеличением количества угольных частиц в образцах торфа, по-видимому, отражающее общее похолодание климата, как и сведение коренных лесов человеком в том числе при подсечно-огневом земледелии. Появление антропогенных индикаторов и почти полное исчезновение пыльцы широколиственных из спектров, произошло на глубине 60 см. Предположительно, это может быть связано с деятельностью поселений позднего железного века или славянской колонизацией. На глубине 45 см зафиксирован мощный угольный слой, а на 35–40 см происходит резкое уменьшение степени разложения торфа, увеличение показателя ППП, и непродолжительное восстановление доли пыльцы широколиственных пород, однако возраст этого слоя только предстоит узнать (период «Темных веков», малый ледниковый период или Опричнина и Смута).

Таким образом, пыльцевые спектры из образцов торфа исследуемого болота отражают изменения региональной растительности в голоцене, однако высока доля и локального пыльцевого компонента. Необходимы дальнейшие исследования, а также определение возраста отложений. Изучение не нарушенного торфоразработками болота вместе с остальными торфяниками на территории ЗБС позволит в полной мере

реконструировать историю растительности и климата в голоцене для западного Подмосковья.

**Древесный покров Санкт-Петербурга и его место
в территориальном планировании
и градостроительном зонировании**

Т. В. Бакшеева¹, Е. П. Чебыкина¹, А. И. Резников²

¹Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7-9-11В, spbu@spbu.ru

²Государственное казенное учреждение «Дирекция особо охраняемых
природных территорий Санкт-Петербурга», 197046, Санкт-Петербург,
ул. Малая Посадская, 3, oopt.spb@yandex.ru

Из-за роста и развития городов, а также их удаления от природы, все большую роль играют зеленые насаждения (ЗН). В своей работе мы проводим анализ части зеленых насаждений, а именно территорий, покрытых древесной растительностью (ТПДР) с градостроительной точки зрения и оцениваем их породный состав.

Градостроительный статус этих территорий важен, так как именно он определяет степень правовой защиты зеленых насаждений. [1]

При работе мы обращались к различным законодательным актам для понимания правового статуса ТПДР. Согласно [2], зеленые насаждения — древесные, кустарниковые, травянистые растения и цветники естественного (выросшие в результате естественных процессов, без ведения хозяйственной деятельности человека) и искусственного (высаженные в результате хозяйственной деятельности человека) происхождения, расположенные на территории Санкт-Петербурга (СПб).

Для работы нам было необходимо найти актуальные данные по древесному покрову Санкт-Петербурга. После сравнения различных вариантов мы остановились на наборе данных покрытия кронами деревьев, полученном из [3].

По этим данным, из всей площади СПб (1442 км²) древесный покров занимает 415 км² или 29% (рис. 1).



Рисунок 1. Доля территории СПб, покрытой древесной растительностью.

Для градостроительного анализа, территорию, покрытую древостоями, мы разделили на следующие категории (рис. 2)

А. Зеленые насаждения, имеющие статус:

I. ЗН федерального значения (музеи-заповедники и ООПТ) (*ФедЗнач*) [4]

II. Территории ЗН, классифицированные по категориям из [2]:

1) территории ЗН общего пользования (*ЗНОП*) [5] [6]

2) территории защитных лесов (*ЗащЛес*)

3) территории ЗН особо охраняемых природных территорий (ООПТ)

4) территории ЗН, выполняющих специальные функции (*СпецФункц*)

5) территории ЗН ограниченного пользования (*ЗНОгрП*) [7]

Б. Территории, предполагающие наличие и/или создание ЗН (*ЗНпредп*) (сюда вошли рекреационные зоны из [9])

В. Древостои, находящиеся на территориях, прилегающих к жилым домам (*ЖилДома*) (выделялись по земельным участкам жилых домов)

Г. Неучтенные древостои (*Неучт*) — территории, не вошедшие в предыдущие категории.

Поскольку некоторые из этих категорий частично пересекаются, к каждой следующей категории мы относили те ТПДР, которые не вошли ни в одну из предыдущих.

При составлении карты были использованы данные из [3], [8], [9], [10].

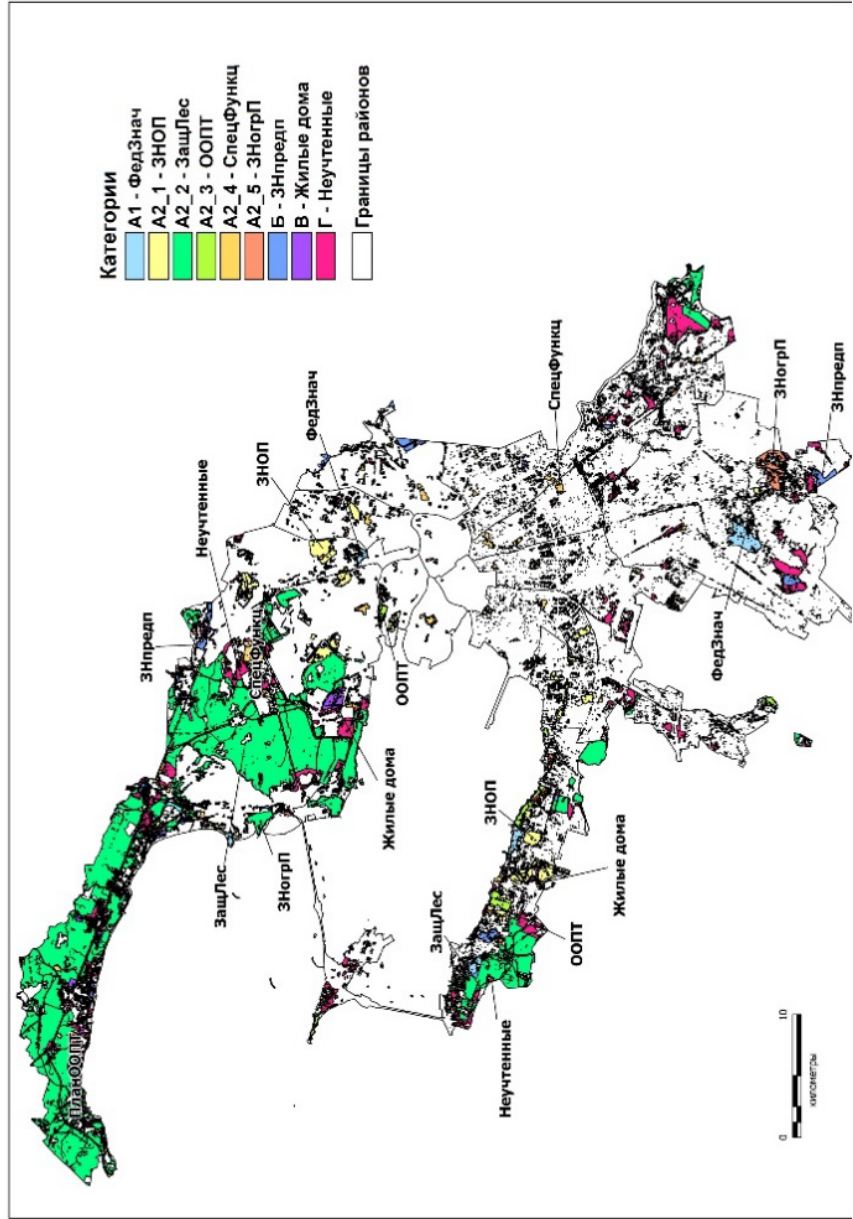


Рисунок 2. Зеленые насаждения Санкт-Петербурга по категориям (описание выше).

Анализ (рис. 3.) показал, что половину ТПДР Санкт-Петербурга занимают защитные леса. Второй категорией по площади являются неучтенные ТПДР. На рис. 4 видно, что категория защитных лесов является самой «зеленой», при этом меньше всего площади древесные насаждения занимают в категории «жилые дома».

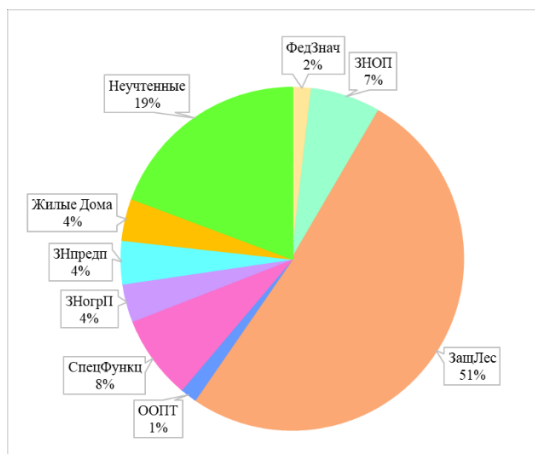


Рисунок 3. Доля древесного покрытия по категориям от его общей площади.

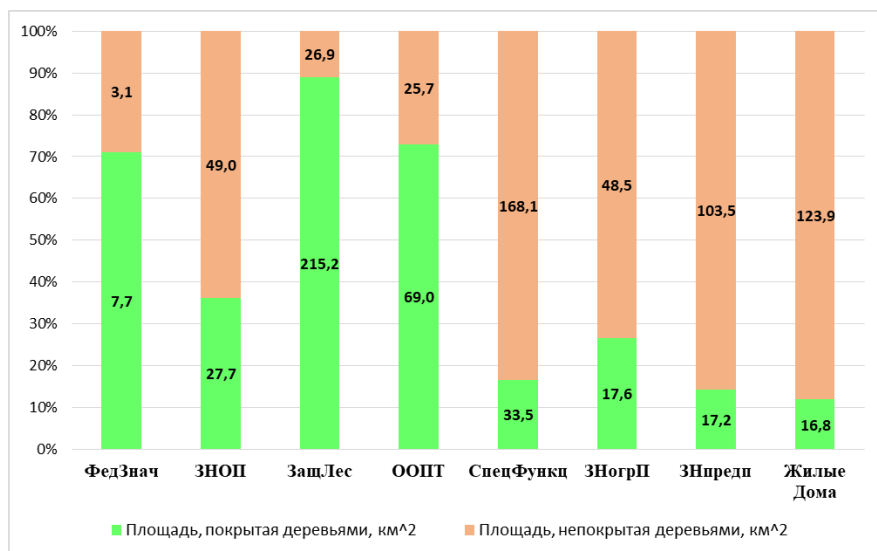


Рисунок 4. Соотношение территорий категорий, покрытых и непокрытых древесными насаждениями.

Далее мы стали более подробно работать с «неучтенными» ТПДР. Мы разделили эту территорию на территориальные зоны ПЗЗ по [9].

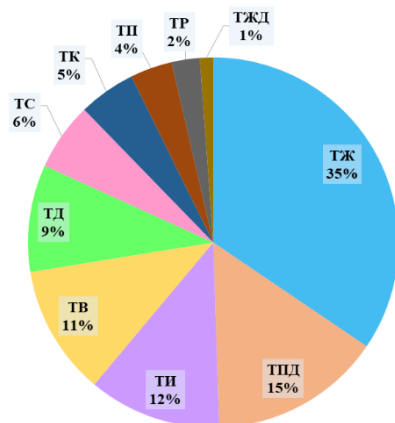


Рисунок 5. Доли площади неучтенных лесов категории (Неучт), занимаемые различными территориальными зонами.

ТЖ — жилая зона, ТПД — многофункциональная подзона объектов производственного, складского назначения и общественно-деловой застройки, ТИ — зона объектов инженерной и транспортной инфраструктур, коммунальных объектов и объектов железнодорожного транспорта, ТВ — зона объектов воздушного и водного транспорта, ТД — общественно деловые зоны, ТС — зоны сельскохозяйственного использования, ТК — зоны специального назначения, ТП — производственные зоны, ТР — зоны рекреационного назначения, ТЖД — многофункциональная зона жилых домов и общественно-деловой застройки.

По рис. 5 мы видим, что большая часть неучтенных ЗН расположена в жилых зонах. Второе место занимает многофункциональная подзона объектов производственного назначения.

Помимо градостроительного анализа городских территорий, покрытых деревьями, мы проанализировали их с ландшафтной точки зрения по данным [8]. В северной части Санкт-Петербурга наибольшую площадь покрытия древесной растительностью занимают равнины: заболоченные, искусственно дренированные или окультуренные на безвалунных и мелковалунно-галечных песках и супесях. В южной части города окультуренные равнины с сельскохозяйственными угодьями разной степени зарастания: на безвалунных песках и супесях, на безвалунных и малощебнистых суглинках и глинах

Также мы провели анализ по имеющимся данным о породном составе древостоев на ТПДР. Информация была найдена для категорий *ЗащЛес* и *ЗНОП*. [11] [12]

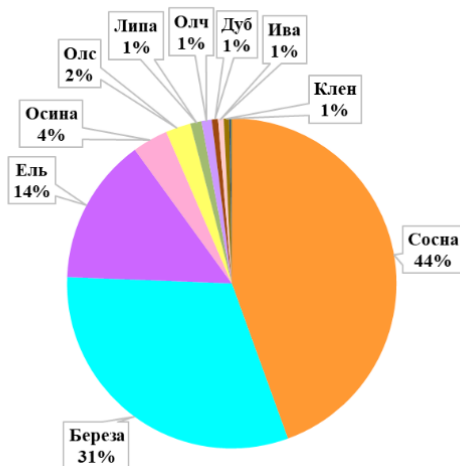


Рисунок 6. Диаграмма распределения породного состава *ЗащЛес* и *ЗНОП*.

Из полученных данных (рис. 6.) мы выяснили, что самыми распространёнными породами являются сосна и береза. Сосна занимает долю в 42% от территорий, имеющих данные о породном составе; распространена повсеместно. Береза занимает 32% от площади этих территорий.

На данном этапе исследования мы оценили место территорий, покрытых древесной растительностью, в градостроительном планировании Санкт-Петербурга, и выявили связанные с этим проблемы, а также оценили приуроченность древостоев города к ландшафтам и породный состав.

В полевом сезоне 2023 г. были проведены ландшафтные исследования наиболее крупных участков неучтенных зеленых насаждений. Полученные данные будут использованы в наших выпускных квалификационных работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации : от 29.12.2004 № 190-ФЗ : ред. от 28.04.2023.

2. О зеленых насаждениях в Санкт-Петербурге : Закон г. Санкт-Петербурга от 28 июня 2010 года № 396-88.
3. Global Forest Change 2000–2021 / University of Maryland. URL: <https://storage.googleapis.com/earthenginepartners-hansen/GFC-2021-v1.9/download.html>
4. Об утверждении перечней федеральных государственных музеев и федеральных государственных учреждений культуры и искусства : Распоряжение Правительства Российской Федерации от 5 января 2005 года № 4-р.
5. Материалы инвентаризации зеленых насаждений общего пользования городского значения. 2021 г. // Фонды Комитета по благоустройству Санкт-Петербурга.
6. О зеленых насаждениях общего пользования : Закон Санкт-Петербурга от 19 сентября 2007 года № 430-85.
7. Об охране зеленых насаждений : Закон Санкт-Петербурга от 12 мая 2004 года № 254-38.
8. Атлас особо охраняемых природных территорий Санкт-Петербурга / отв. ред. В. Н. Храмцов, Т. В. Ковалева, Н. Ю. Нацваладзе. СПб., 2016. 176 с.
9. О Правилах землепользования и застройки Санкт-Петербурга : Постановление Правительства Санкт-Петербурга от 21 июня 2016 года № 524.
10. Региональная информационная система «Геоинформационная система Санкт-Петербурга». URL: <https://rgis.spb.ru> (дата обращения: 21.10.22).
11. Материалы Лесоустройства Курортного парклесхоза Ленгорисполкома, 1980-е гг. // Фонды СПб ГКУ «Курортный лесопарк».
12. Планы лесных насаждений участковых лесничеств Курортного лесопарка Санкт-Петербурга. 2012 г. // Фонды СПб ГКУ «Курортный лесопарк».

**История возникновения пожаров в лиственничных лесах
полуострова Камчатка по данным дендрохронологии
и спутникового зондирования**

Р. Р. Бичурин¹, И. С. Бушуева¹, М. А. Воробьёв¹, Т. Г. Джалиашвили¹, Е. А. Долгова¹, В. Н. Михаленко¹, Н. С. Семяняк¹

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
terpomo@bk.ru, irinasbushueva@gmail.com, m.vorobyev@igras.ru,
tgdzhaliashvili@edu.hse.ru, dolgova@igras.ru, mikhalenko@igras.ru,
semynyak@igras.ru

Пожарные события с точки зрения дендрохронологии — это события, связанные с горением леса или подстилающей поверхности, которые могут быть записаны в летописи дерева и могут быть изучены с использованием методов дендрохронологии. При пожарах деревья могут быть повреждены или полностью сгореть. Это приводит к образованию характерных следов на стволе дерева, таких как пожарные подсушины и обгоревшие участки.

Изучение пожарных событий с использованием дендрохронологии позволяет получить информацию о истории пожароопасности в разных регионах, длительности пожарных сезонов, изменениях климата и других факторах, которые могут влиять на возникновение и распространение пожаров. Это помогает лучше понять природные пожарные циклы и способствует разработке стратегий управления пожарами и прогнозированию их возникновения в будущем.

Тайга полуострова Камчатка, периодически подвергается горению. Однако антропогенная нагрузка на местные экосистемы достаточно низка, в силу небольшого количества дорог и поселений, и обилия труднопроходимых территорий. Поэтому Камчатские леса представляют особый интерес в изучении естественной пожарной динамики.

На сегодняшний день, пожары стали изучаться интенсивнее, так как появилось спутниковое зондирование. Однако ДДЗ требуют сверки с полевыми данными, поэтому цель исследования провести верификацию пожарных событий с помощью двух методов: ДДЗ и дендрохронологического.

В работе поставлены следующие задачи:

1. Создание базы данных спутниковых снимков.
2. Отбор образцов.
3. Создание «пожарной» хронологии.

Для выявления мест, предполагаемых пожаров нами были проанализированы результаты спутниковых данных MODIS Fire_cci Burned Area (version 5.1) [4, 5]. Этот продукт показал наибольшую достоверность наличия пожарного события по сравнению с другими базами данных (MODIS dataset MCD64A1, MCD64A1 Version 6 Burned Area, MOD14A1 V6.1 и MYD14A1 V6.1). В качестве верификации выявленные площади горения по материалам MODIS проверялись на снимках среднего и высокого разрешения с космических аппаратов миссий Landsat и Sentinel и исключались, если не находили подтверждения. Результаты поиска пожаров представлены в таблице 1.

Таблица 1. Местоположение выявленных сгоревших участков.

id	Год пожара	День начала пожара	Широта	Долгота
1	2020	168	55.948	158.692
2	2009	228	56.014	158.790
3	2020	173	56.041	158.964
5	2013	150	55.910	158.726
6	2014	165	56.067	158.918
7	2014	148	56.072	158.892
8	2014	149	56.063	158.895
9	2002	184	55.813	159.308
10	2002	189	55.732	159.627
11	2003	220	55.639	159.291
12	2003	197	55.631	159.237
13	2004	155	55.899	159.651
14	2004	147	55.993	159.770

Дендрохронологическая часть работы предполагала отбор кернов приростным буравом Пресслера. Керна отбирались в 4–5-кратной повторности: 2 — из не повреждённых участков дерева, 1 — из подсушины, 1–2 — из каллюсной ткани рядом с подсушиной (рис. 1). В основном

пожарные шрамы находились в зоне комли, поэтому большинство кернов повреждённых частей дерева были взяты из прикорневой зоны. Для транспортировки были использованы коктейльные пластиковые трубки. Дальнейшая обработка образцов проводилась в соответствии с общепринятыми методическими требованиями древесно-кольцевого анализа [1, 2]. В лаборатории дендрохронологии керны осторожно извлекались из трубок и наклеивались на деревянные подложки с помощью клея ПВА, затем шлифовались абразивами разной зернистости (р240–р600–р800–р1000) для увеличения контрастности колец. Затем сканировались на сканере Epson Expression 11000XL с разрешением 2400–3200 dpi в масштабе 100%. Измерение колец проводилось в программе Coorecorder 9.8.1, а датировка в CDendro и COFECHA [3].

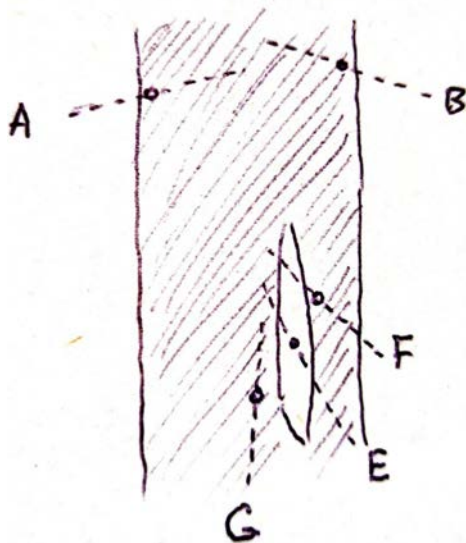


Рисунок 1: Схематичное изображение мест отбора проб из дерева.

А, В — керны из неповреждённых участков; Е — керн из подсушины; F, G — керны из зоны каллюсной ткани в левой и правой части шрама.

При проведении полевого этапа мы ориентировались на полученные данные ДДЗ (рис. 2) и посетили некоторые из найденных мест, что позволило подтвердить наличие пожаров и установить точный год, а

иногда и месяц, пожарного события. Нам удалось посетить точки 5, 6, 7 и 8, на которых действительно был обнаружен обгоревший древостой и пожарные подсушины, а также визуально осмотреть окрестности точек 1, 2 и 3 издалека, где нами было отмечена габитуально похожая ситуация [как и на точках 5, 6, 7, 8] — редкий древостой, преимущественно из мёртвых деревьев.



Рисунок 2: Подтверждённый выгоревший массив леса к востоку от посёлка Эссо.
На основе спутниковых данных MODIS Fire_cci Burned Area (version 5.1).

Позже на камеральном этапе нам были подтверждены пожарные события на изученных участках, а также найдены дополнительные, судя по всему, локальные возгорания.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Все изученные площадки были поражены верховыми пожарами.

Получено подтверждение пожаров 2013 года на точке 5 и 2014 года на точках 6, 7, 8.

Найдены дополнительные пожары, как за изучаемый период (2018 — т. 5;), так и до него (1990, 1992 — т. 5; 1991 — тт. 6, 7, 8)

Также были найдены пожарные шрамы, предположительно, более старые и в однократной повторности, в датировке которых мы не можем быть уверенными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Наурзбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Ч. I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации : Учебно-методич. пособие. Красноярск, 2000.
2. Cook E. R., Kairiukstis L. A. Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. Dordrecht; N. Y., 1990.
3. Holmes R. L. Computer-Assisted Quality Control in Tree-Ring Dating and Measurement // Tree Ring Bulletin. 1983. Vol. 43. P. 69–78.
4. Padilla Parellada M. ESA Fire Climate Change Initiative (Fire_cci) : MODIS Fire_cci Burned Area Pixel product, version 5.1 / Centre for Environmental Data Analysis. 01 November 2018. DOI 10.5285/58f00d8814064b79a0c49662ad3af537
5. Lizundia-Loiola J., Otón G., Ramo R., Chuvieco E. A spatio-temporal active-fire clustering approach for global burned area mapping at 250m from MODIS data // Remote Sensing of Environment. 2020. 236. 111493. DOI 10.1016/j.rse.2019.111493

Геоинформационное моделирование транспортной доступности населенных пунктов на примере Калининградской области

Р. Ш. Гасанов¹, А. М. Карпачевский¹

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1,
rusgas303lab@mail.ru, karpach-am@yandex.ru

Исследования транспортной доступности ведутся со второй половины XX в. Интерес к изучению данного явления диктуется его актуальностью практически для любой освоенной территории, поскольку транспорт связывает между собой части пространства и людей, которые на них проживают. От транспортной доступности зависят уровень жизни местного населения и привлекательность территории для туристов. Поскольку транспортная доступность изучается на разных масштабных уровнях (начиная от городов и заканчивая странами и макрорегионами), ее трактовка (и, следовательно, методика оценки) зависит от конкретной задачи. Тем не менее подходы многих авторов частично схожи. Их анализ показывает, что транспортная доступность, в частности, отдельного населенного пункта, как правило, подразумевает:

- 1) использование транспортной системы, к которой относится пункт;
- 2) некоторый объем издержек, связанный с достижением пункта;
- 3) некоторое количество способов, которыми можно добраться до пункта (в том числе нулевое).

В рамках данного исследования была изучена транспортная доступность поселений Калининградской области. Маршрутная сеть автобусного общественного транспорта, который является ключевым элементом в системе областных пассажироперевозок, обеспечивает высокий уровень транспортной связности региона. По этой причине в данной работе транспортная доступность интерпретируется именно через доступность автобусного общественного транспорта. Тем не менее в области существует проблема транспортной доступности сельских населенных пунктов. Около 10% сельских поселений области испытывают трудности с доступом к общественному транспорту, а часть пунктов вовсе отрезаны от автобусного сообщения. Проблема транспортной доступности является одной из причин оттока населения из поселков в ближайшие города в локальном масштабе и перемещение населения из восточной части

области в наиболее развитую западную в масштабах всего региона. При этом, согласно опросам местных жителей, больше 50% респондентов считают, что рост транспортной доступности приведет к улучшению социально-экономического положения их поселений. Для изучения пространственной дифференциации населенных пунктов Калининградской области по величине доступности общественного транспорта, было сформулировано собственное определение транспортной доступности и разработана методика ее автоматизированного моделирования.

Оценка транспортной доступности проведена с помощью ряда показателей — четырех видов центральности и предложенного в рамках разработанной методики показателя потенциальной транспортной доступности (ПТД). Центральности оценивают степень важности элемента в сети, исходя из его положения в ней. ПТД характеризует доступность пункта через возможности системы общественного транспорта в нем. Он зависит от регулярности автобусного сообщения между пунктами, от расстояния между ними и процентом населения области, которое имеет прямой доступ к данному пункту по маршрутной сети автобусного транспорта.

Подобранные показатели были рассчитаны для мультиграфа сети автобусного сообщения, составленного на основе данных OpenStreetMap, картографической службы Яндекс.Карты и расписаний с сайта областных автовокзалов. Оценка доступности проводилась с привлечением материалов Базы данных показателей муниципальных образований (БД ПМО) Федеральной службы государственной статистики. Все показатели были рассчитаны посредством программного кода на языке программирования Python: центральности рассчитывались с помощью библиотеки NetworkX; для расчета ПТД был реализован собственный инструмент геообработки, интегрированный в ГИС-пакет QGIS.

Максимальными значениями ПТД обладают города Калининград и Гурьевск, а также 15 поселков Гурьевского муниципального округа, граничащего с городским округом «Город Калининград». Это демонстрирует зависимость доступности от близости к крупным населенным пунктам. Помимо этого, на доступность также влияет транзитность. То есть расположение вблизи крупных поселений еще не гарантирует высокого значения ПТД, что соответствует действительности. В пунктах с нулевой ПТД проживает 22 942 чел. (2,3% от населения области) — эта часть

населения изолирована от автобусного сообщения. Связь между ПТД и численностью населения пункта выявить не удалось: за исключением Калининграда и Гурьевска все города области имеют средние значения ПТД, вероятно, из-за их удаленности от Калининградской агломерации и (иногда) низкой транзитности их положения (рисунок 1).

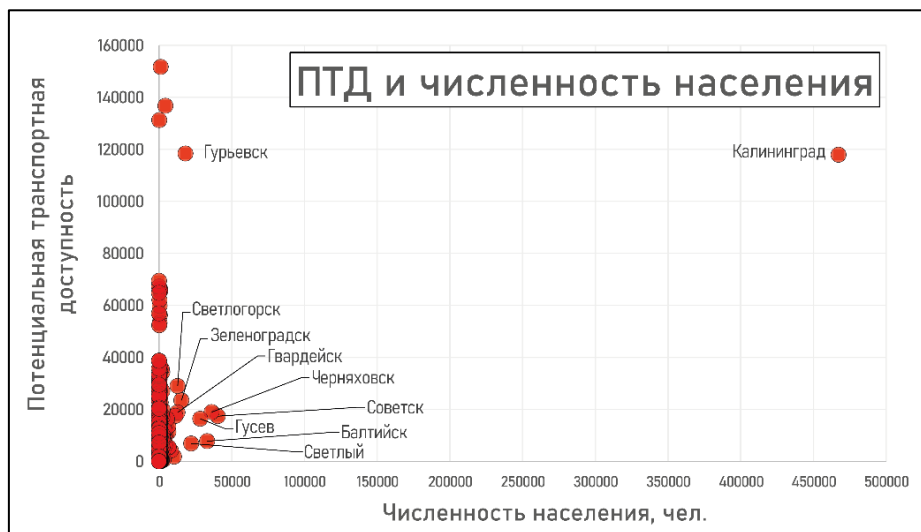


Рисунок 1. Точечная диаграмма потенциальной транспортной доступности и численности населения.

ПТД сокращается с удалением пунктов как от Калининграда, так и от центров муниципальных образований (МО): в обоих случаях выявлены линейные тренды сокращения ПТД. Максимальное значение ПТД внутри каждого из МО было сопоставлено со значением ПТД административного центра. Максимальный ПТД в пределах МО имеют города Краснознаменск, Нестеров, Озерск, Светлогорск и Черняховск. Этому способствует удаленность всей территории МО от основных дорожных путей, что делает административный центр местным крупнейшим транспортным узлом (Краснознаменск, Нестеров, Озерск), либо выгодное транзитное положение центра (Черняховск, Нестеров), либо близость к наиболее населенным пунктам (Светлогорск).

Центральность по степени позволила выделить транспортные узлы, которые обслуживаются наибольшим количеством маршрутов —

Калининград, Черняховск, Гусев (располагаются на пересечении большого количества дорог), Гурьевск (промежуточный пункт для многих маршрутов из Калининграда, идущих в северном направлении) и Зеленоградск (своего рода «бутылочное горлышко» на пути к Куршской Косе).

Наибольшие значения центральности по промежуточности имеют населенные пункты, расположенные вдоль дорог международного (трассы Е-77, Е-28), регионального и межмуниципального значения, отходящими от международных трасс (27А-017 Калининград — Долгоруково, 27А-032 Романово — Калининград, 27А-145 Полесск — Большаково...): Калининград, Черняховск, Гусев, Правдинск, Неман, Озерск, Полесск, Славск и Гурьевск.

Корреляционный анализ с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена позволил выявить ряд связей между показателями доступности и некоторыми социально-экономическими и топологическими показателями. Для ПТД и центральности по степени связь с густотой сети маршрутов выглядит вполне логичной. Степень вершины растет вместе с числом маршрутов, в которых она участвует. Чем выше степень вершины в среднем по муниципальному образованию, тем больше в среднем маршрутов проходит по ней. Связь между центральностью по промежуточности и численностью сельского населения объясняется тем, что поселения с более транзитным положением наиболее доступны (рисунок 2). Это делает жизнь и, в частности, поездки на работу в ближайшие города без смены места жительства более комфортными. Также была выявлена корреляция между ПТД и общим приростом населения. Таким образом, транспортная доступность является одним из факторов, влияющих на демографическую ситуацию поселений.

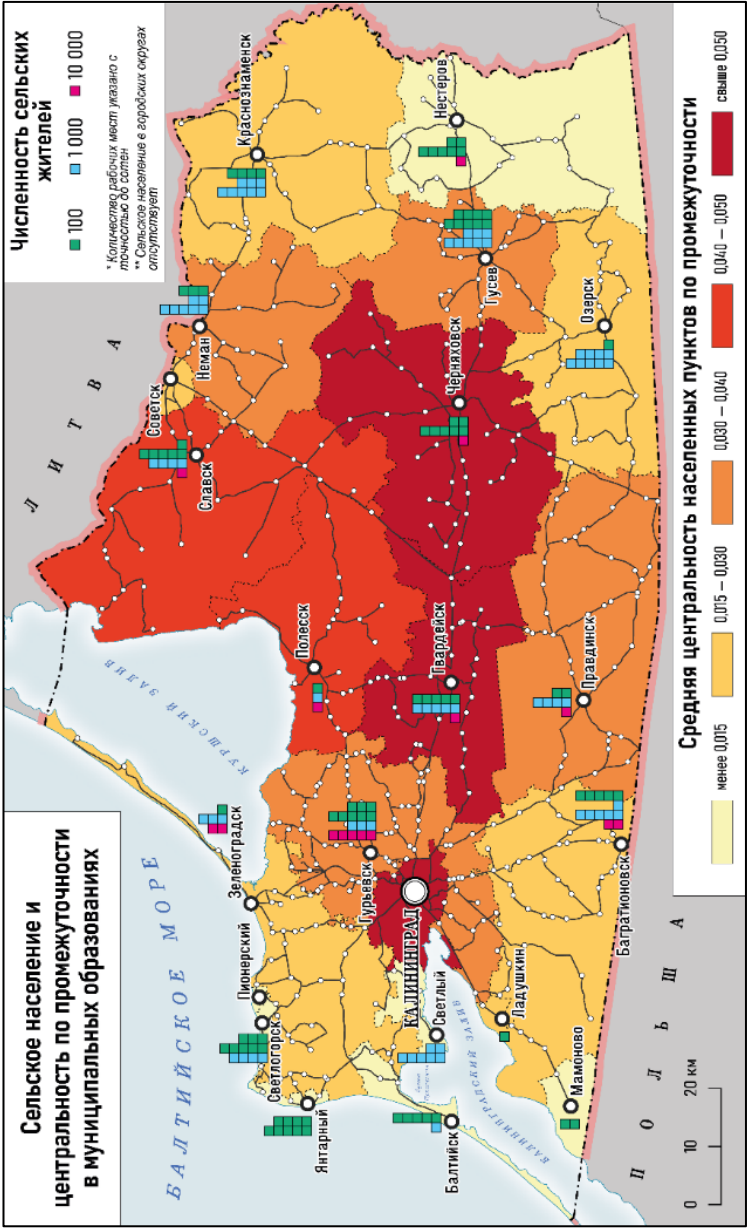


Рисунок 2. Карта, отображающая связь между численностью сельского населения и транспортной доступностью.

Исследование бывшей мелиоративно-дренажной системы в Калининградской области

Л. А. Глуходедова¹, И. Д. Клешняк¹

¹Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, 191086, набережная р. Мойки, 48, Санкт-Петербург,
lyubovgluk@mail.ru

Природные условия Калининградской области способствуют образованию поверхностных и подземных вод, поэтому на данной территории большое количество рек и озер. Изучаемая территория представляет собой плосковолнистую и славодренированную моренную суглинистую и глинистую равнину. Количество осадков в районе водоема колеблется от 700 до 750 мм в год, среднегодовая температура составляет 7–6,5 °С. Высота над уровнем моря равна от 70 до 80 м [3].

Из множества водных объектов был выбран водоем, не имеющий официального названия и обладающий нехарактерной формой для этой области. На месте водоема ранее, в немецкие времена 20 века, находилась мелиоративно-дренажная система и велась добыча торфа.

На довоенных картах на месте современного водоема присутствовало обозначение наземной добычи торфа (нем. *bruch mit torfstich*). Также, мелиоративно-дренажная система прослеживается на старых топографических картах: немецких 1938 г. и 1933 г. и американской 1958 г. (в качестве картоосновы использованы 250-метровки Красной Армии 1937–1944 гг., германские гидрографические карты 1937 г. (для указания глубин) и германские военные карты 1939 г.) [4, 5]. В первые послевоенные годы уход за данным местом прекратили по экономическим и техническим причинам [1]. После этого, по мнению авторов, начал образовываться водоем. Так на спутниковом снимке 1965 года, полученном путем дистанционного зондирования Corona (США), нынешний водоем еще не образовался, однако, на снимке видны очертания береговой линии (контраст цветов: так, более темные участки впоследствии затопит и образуется полноценный водоем). Отчетливо видны мелиоративно-дренажная система, место добычи торфа и окружающий его лес. По всей видимости, вода уже заполнила отрицательную форму рельефа, в которой и располагались места хозяйственной деятельности. С последующими годами количество воды увеличивалось, что в 70–80-х гг., со слов местных жителей, привело к образованию небольшого водоема.

Впервые водоем появляется на российских картах в 2001 г. Так, можно сделать вывод, что водоем образовался не позднее 2001 г.

Для изучения рельефа дна в июле 2023 года было проведено измерение батиметрических показателей с помощью инструментов: ручной лотлинь, GPS-навигатор и геодезическая рулетка. Была построена батиметрическая карта с использованием программы Surfer; используя сервис Google Earth, старая немецкая карта наложена на спутниковую фотографию. Точки береговой линии получены путем снятия координат с помощью GPS-навигатора и спутникового снимка.

В ходе работы было выявлено, что глубины на местах старой системы и добычи торфа более двух метров, при средней глубине 0,89 м. Следует отметить, что на месте мелиорации, в водоеме, отсутствует растительность. При этом, в водоеме за несколько десятилетий появилось множество представителей флоры и фауны. Флора представлена водорослями и прибрежно-водными видами растений: роголистник (*Ceratophyllum demersum*), рдест плавающий (*Potamogeton natans*), кубышки (*Nuphar*) и др., а также затопленные сухостои; фауна представлена от мелких ракообразных до хищников, таких как щука, окунь и др. Несмотря на молодость и генезис водоема, особям удалось приспособиться к новой экосистеме. Это может говорить о том, что данное место является экологически чистым и благоприятным для жизни.

Исследование водоема на территории бывшей Восточной Пруссии представляет научный интерес в плане изучения трансформации данного объекта в полноценную экосистему на месте антропогенной деятельности. Наблюдение за такой экосистемой необходимо для понимания естественного функционирования объектов после прекращения на них хозяйственной деятельности. Для более глубокого понимания данного процесса необходимы дальнейшие наблюдения и исследования не только данного водоема, но и похожий, которых в регионе может быть много.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев А. И., Ткаченко А. А. Вопросы географии. Сб. 135 : География населения и социальная география. Издательский дом «Кодекс», 2013. 309 с.

2. Левченков А. В. Трансформация культурного ландшафта периферийных зон территории Калининградской области в 19–20 веках // Балтийский регион. 2015. Т. 8, № 4.
3. Орленок В. В. Калининградская область : [географический атлас]. Мастерская «Коллекция», 2011. С. 18–19, 26–27, 32–33.
4. ЭтоМесто [Электронный ресурс]. URL: <http://www.etomesto.ru/> (дата обращения 08.10.23).
5. Карты Восточной Пруссии 1920–1943 годы [Электронный ресурс]. URL: <https://map39.ru/> (дата обращения 08.10.23).

Влияние транспортной доступности на экономическое благосостояние городских районов

П. О. Гонюхов¹

¹Высшая школа экономики, 109028, Москва, Покровский бульвар, 11,
petr.gonyxov@gmail.com

В российских городах наблюдается высокий уровень экономической стратификации, и цены на недвижимость являются одним из ключевых индикаторов этих различий [3]. При этом на цены оказывает влияние множество факторов разного масштаба — от национальных до локальных [4]. В данной работе исследовано влияние транспортной доступности и ее характеристик на стоимость жилой недвижимости на примере города Саратов, который характеризуется низкими ценами на жилую недвижимость и при этом их высокой стратификацией [1, 2].

Исследование построено вокруг двух гипотез. Первая: доступность автомобильным и общественным транспортом создают разные эффекты для благосостояния районов. Вторая: интегральная доступность больше, чем доступность до центра города, влияет на экономическое благосостояние районов.

Информационную базу исследования составляют: 1) данные сайта Реформа ЖКХ о местоположении, возрасте и количестве квартир в 7,5 тысячах многоэтажных жилых домов Саратова, 2) данные сайта Transmetrika о расписании движения, остановках и маршрутах общественного транспорта, 3) данные с сайта Kaggle о 115 тыс. объявлений о продаже квартир в городе Саратове за 2021 год и 4) данные OpenStreetMap о дорожной сети и застройке города.

Для исследования выбраны 6 параметров транспортной доступности, которые смоделированы для 612 гексагонов радиусом 200 метров для всей территории Саратова. Параметры сгруппированы по трем группам: автомобильная доступность, доступность общественным транспортом и выгодность положения относительно системы общественного транспорта. В качестве контрольной переменной, описывающей качество самого жилья, использовался средний возраст домов. Для оценки влияния транспортной доступности на экономическое благосостояние для каждой пары переменных (цена на недвижимость и параметр транспортной доступности) проведены эксплораторный и регрессионный анализы.

По результатам регрессионного анализа средняя цена недвижимости линейно связана со всеми параметрами транспортной доступности. Большую объяснительную силу (более 42%) показывают модели доступности до центра города, в то время как модели интегральной доступности гораздо слабее объясняют неравномерность распределения экономического благосостояния. Каждая минута в пути на автомобиле от центра Саратова уменьшает среднюю стоимость объявления о продаже жилой недвижимости на 870 рублей за квадратный метр, на общественном транспорте — на 455 рублей за квадратный метр.

В ходе работы опровержены обе гипотезы, выдвинутые в начале исследования. Первая гипотеза, касающаяся того, что доступность автомобильным и общественным транспортом создают разные эффекты для благосостояния районов, опровержена, так как показатели доступности (как интегральная доступность, так и доступность до центра города) для обоих видов транспорта сильно коррелируют между собой. Вторая гипотеза исследования, касающаяся большей степени влияния интегральной доступности (на автомобиле и на общественном транспорте) на экономическое благосостояние районов, также опровержена. Результаты линейной регрессии указывают на большее влияние доступности до центра города для обоих видов транспорта на экономическое благосостояние районов: в совокупности с возрастом домов они объясняют до половины различий в средней стоимости жилой недвижимости в городе.

Проведенное исследование показывает, что влияние транспортной доступности на благосостояние может быть смоделировано для всей территории города, а не только в микромасштабе. Впервые показано различие эффектов интегральной доступности и доступности до центра города для цен на жилую недвижимость. Полученные количественные оценки эффектов транспортной доступности для стоимости недвижимости могут быть использованы как референсные значения в исследованиях других российских городов.

Данное исследование также выявило несколько проблем транспортной системы города Саратов. Во-первых, система общественного транспорта города сильно централизована. Во-вторых, в полной мере не реализован потенциал трех выявленных транспортных хабов в разных частях города. Городу необходима трансформация сети общественного транспорта с целью создания магистральных и подвозящих автобусных маршрутов, что уменьшит количество дублирующих маршрутов,

потенциальные автомобильные заторы и повысит мобильность населения. Выявленные в ходе исследования транспортные хабы могут стать опорой для создания новой маршрутной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балаш В. А., Балаш О. С., Харламов А. В. Эконометрический анализ геокодированных данных о ценах на жилую недвижимость // Прикладная эконометрика. 2011. № 2 (22). С. 62–77.
2. Лубкова М. А., Федюнина Т. В. Анализ рынка жилой недвижимости в г. Саратов // Традиционная и инновационная наука: история, современное состояние, перспективы : сборник статей Международной научно-практической конференции. 2018. № 5. С. 160–162.
3. Попов А. А. Пространственно-временной анализ факторов ценообразования на рынке жилой недвижимости Москвы // Региональные исследования. 2014. № 4. С. 70–80.
4. Родионова Н. В. Специфика ценообразования на рынке жилья и факторы, влияющие на цену недвижимости // Аудит и финансовый анализ. 2009. № 2. С. 406–411.

Современное оледенение Южно-Чуйского хребта и динамика данного оледенения с середины XX века

Ю. А. Горбунова¹, Д. А. Ганюшкин¹

¹Институт наук о Земле СПбГУ,

Санкт-Петербург, 10-я и 11-я линии ВО., 31-33,

jugorbunovalia@gmail.com, ganushkinspbgu@mail.ru

Ледники являются естественными индикаторами климата, чувствительными к его изменениям. Особенно таковыми являются горные ледники, которые быстрее реагируют на колебания климата из-за малого размера. Изменения в горных ледниках оказывают влияние на сток, что имеет значение для засушливых территорий. Следовательно, изучение динамики горных ледников имеет большое научное и экономическое значение [6]. Несмотря на то, что изучением оледенения Алтая занимаются уже более века, с момента каталогизации ледников территории Южно-Чуйского хребта прошло более 50 лет. За это время произошли большие их изменения.

Целью исследования в данной работе является оценка современного состояния оледенения Южно-Чуйского хребта.

Для дешифрирования ледников был использован 12-канальный спутниковый снимок Sentinel-2 с разрешением 10 м [7]. Снимок был сделан 24 августа 2021 года, тем самым исключено влияние сезонного снежного покрова. Облачность на снимке отсутствует. В ходе работы был сделан синтез каналов в RGB-модели и взято сочетание каналов 432 (естественные цвета: красный, зеленый, синий). В расчет брались ледники площадью более 0,01 км².

По результатам проделанной работы общая площадь оледенения Южно-Чуйского хребта получилась равной 122,59 км². Средняя площадь одного ледника 0,32 км². Всего было выделено 379 ледников, из них более 90% находятся на северном склоне хребта. Самый крупный по площади ледник — Софийский (10,73 км²), лежащий в границах бассейна реки Аккол. Минимальная высота, до которой опускается язык ледника, 2566 м. Ошибка вычислений площади равняется 9,6%.

Количественно доминируют малые ледники, но по площади преобладают крупные (Софийский, Удачный, Большой Талдуринский, Ядринцева и др.). Существует большой потенциал для распада крупных ледников на малые за счет дробления.

По площади оледенения особенно выделяется район бассейна реки Талдура (более 30 км²), а также рек Аккол и Карагем (рис. 1).

Самая высокая средняя площадь одного ледника — в бассейнах рек Талдура и Аккол (более 0,5 км²), также она относительно высока в бассейнах рек Кара-Оюк и Елангаш; самая низкая — в бассейне реки Ирбисту (0,1 км²).

Минимальная высота, до которой доходит оледенение, в целом увеличивается при продвижении с запада на восток: она наименьшая на территории бассейна р. Талдура (2566 м), наибольшая в области оледенения бассейна реки Ирбисту (почти 3000 м), что, несомненно, отражает уменьшение количества осадков в этом направлении.

По морфологическому типу преобладают висячие ледники, каровых почти в 3 раза меньше. Редко встречаются склоновые и плосковершинные. Почти полное отсутствие последних связано с альпинотипным рельефом хребта и слабым развитием поверхностей выравнивания.

По площади оледенения доминируют ледники долинного морфологического типа (63%), за ними идут карово-долинные (17%) и каровые ледники (8%). Наименьшие площади занимают склоновые и плосковершинные ледники, слабо представленные на территории хребта. Долинные ледники характеризуются также наибольшей средней площадью одного ледника, а минимальна средняя площадь одного ледника у висячего типа.

Большинство ледников северного макросклона (и по количеству, и по площади) приурочены к северной и северо-восточной экспозиции (рис. 2).

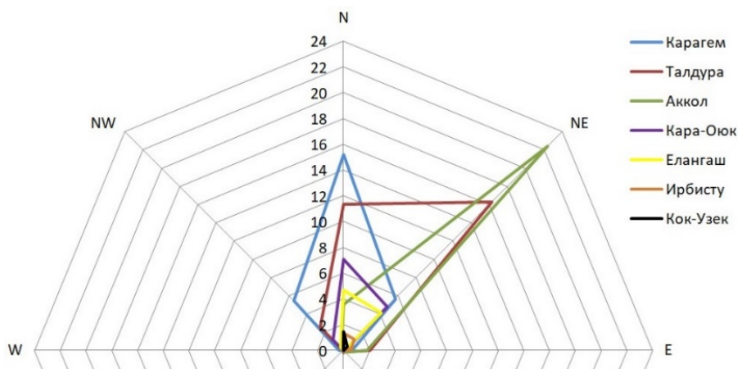


Рисунок 2. Распределение площади оледенения бассейнов рек северного макросклона (в км²) по экспозиции.

Структура оледенения южного макросклона по экспозиции неравномерна: большинство ледников принадлежит южной и юго-восточной экспозиции, но встречаются и ледники, приуроченные ко всем оставшимся экспозициям.

Сравнивая площадь современного оледенения Южно-Чуйского хребта (122,59 км²) с другими центрами оледенения горного Алтая, можно сделать вывод, что данный хребет является одним из крупнейших современных центров оледенения Алтая (после Катунского хребта и массива Таван-Богдо-Ола) (табл. 1)

Таблица 1. Крупнейшие современные центры оледенения Алтая, по [1], [5] и [6].

Центры оледенения	Суммарная площадь, км ²	год
Катунский хребет	198,0	2017
Массив Таван-Богдо-Ола	192,39	2020
Северо-Чуйский хребет	120,02	2023
Массив Хархира	78,8	2006
Хребет Южный Алтай	77,1	2003
Хребет Цамбагарав	68,10	2015

За последние 60 лет площадь оледенения Южно-Чуйского хребта значительно уменьшилась (почти на 100 км², т. е. примерно на 60%), как и средняя площадь ледников (с 1,0 км² до 0,32 км²) (табл. 2).

Таблица 2. Сравнение показателей оледенения из каталога ледников СССР с показателями оледенения 2021 года, по [2] и [3].

Бассейн реки	Каталог ледников СССР		2021 г.	
	число	площадь	число	площадь
Карагем	61	45,9	110	25,03
Талдура	22	47,5	58	32,11
Аккол	24	37,9	49	25,94
Кара-Оюк	21	26,9	36	15,07
Елангаш	16	15,9	27	9,40
Ирбисту	13	7,9	30	3,09
Кок-Узек	7	4,9	15	1,97
Джасатор	33	26,8	45	8,71
Бара	6	3,1	2	0,53
Карасу	8	3,9	6	0,74
Всего	211	220,7	378	122,59

Примечание: в каталоге ледников СССР нет четкой даты, на которую дано состояние ледников.

По площади оледенения из всех морфологических типов ледников значительнее всего регрессировали долинные ледники (более 50% всех изменений), а также карово-долинные (почти 25% всех изменений), суммарная площадь склоновых ледников увеличилась (за счет изменения типа); площадь плосковершинных, каровых, висячих и карово-висячих уменьшилась не так значительно (рис. 3).

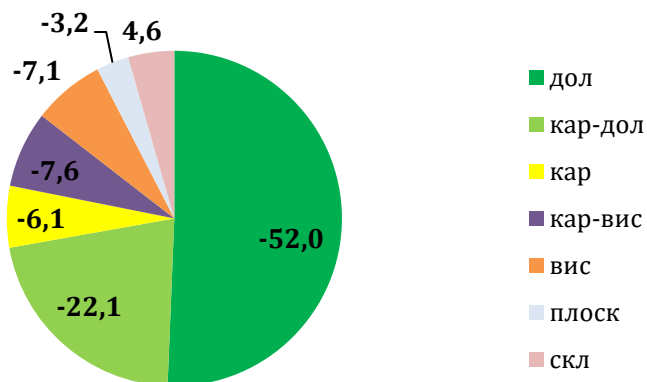


Рисунок 3. Динамика изменения площади оледенения по морфологическому типу в % за период с 1964 по 2021 гг., по [4]
(дол — долинный, кар-дол — карово-долинный, кар — каровый, кар-вис — карово-висячий, вис — висячий, плоск — плосковершинный, скл — склоновый).

По относительным показателям значительнее всего сократилась общая площадь каровых, долинных, карово-долинных и висячих ледников (рис. 4).

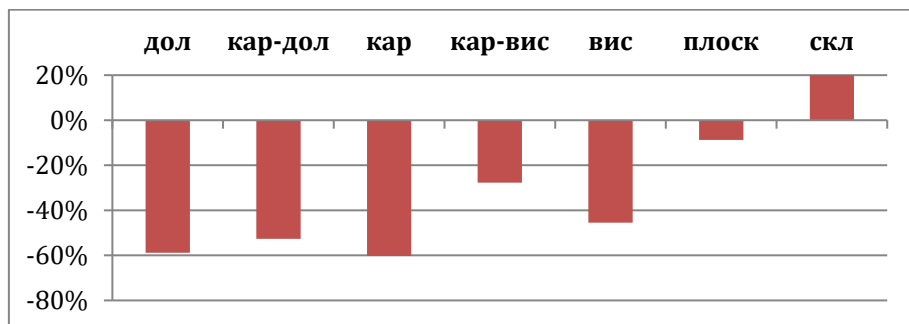


Рисунок 4. Динамика относительного изменения площади оледенения по морфологическому типу в % за период с 1964 по 2021 гг., по [4].

Таким образом, было проведено дешифрирование ледников Южно-Чуйского хребта и на основе полученных данных проанализированы бассейновые, морфологические и экспозиционные особенности оледенения. Выявлено, что Южно-Чуйский хребет является одним из крупнейших центров современного оледенения горного Алтая. В настоящее время ледники на территории хребта регрессируют, т. е. уменьшается суммарная площадь оледенения.

Работа выполнена в рамках гранта РФ № 22-67-00020 «Изменения климата, ледников и ландшафтов Алтая в прошлом, настоящем и будущем как основа модели адаптации населения внутриконтинентальных горных районов Евразии к климатообусловленным изменениям среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганюшкин Д. А. Гляциогенные комплексы резкоконтинентального района северо-запада Внутренней Азии. Санкт-Петербург, 2015.
2. Душкин М. А. Каталог ледников СССР. Том 15 : Алтай и Западная Сибирь. Выпуск 1 : Горный Алтай и Верхний Иртыш. Часть 6 : Бассейн р. Чуи / Главное Управление Гидрометеорологической Службы при Совете Министров СССР. Томский Ордена Трудового Красного Знамени Государственный Университет им. В. В. Куйбышева. Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. 78 с.
3. Душкин М. А., Ревякин В. С. Каталог ледников СССР. Том 15 : Алтай и Западная Сибирь. Выпуск 1 : Горный Алтай и Верхний Иртыш. Часть 5 : Бассейн р. Аргута / Главное Управление Гидрометеорологической Службы при Совете Министров СССР. Западно-Сибирское Управление Гидрометеорологической Службы. Томский Ордена Трудового Красного Знамени Государственный Университет им. В. В. Куйбышева. Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. 52 с.
4. Материалы гляциологических исследований. Хроника обсуждения, выпуск 12: Международный геофизический год 1957-1958-1959. Москва: Институт географии Академии наук СССР, 1966.
5. Ganyushkin D., Bantcev D., Derkach E., Agatova A., Nepop R., Griga S., Rasputina V., Ostanin O., Dyakova G., Pryakhina G., Chistyakov K., Kurochkin Y., Gorbunova Y. Recession of the glaciers of North Chuya ridge and dynamics of the Bolshoi Maashei glacier, Altai, after the LIA // Remote Sensing. 2023.

6. Ganyushkin D. Chistyakov K., Derkach E., Bantcev D., Kunaeva E., Terexkhov A., Rasputina V. Glacier Recession in the Altai Mountains after the LIA Maximum // Remote Sens. 2022.
7. USGS [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения 01.11.2021).

Дендроклиматические исследования на полуострове Камчатка

Е. А. Долгова¹, Н. С. Семеняк¹, Т. Г. Джалиашвили, Р. Р. Бичурин¹,
О. Н. Соломина¹, В. Н. Михаленко¹, М. А. Воробьев¹

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
dolgova@igras.ru

Дендрохронологические данные играют особую роль в создании палеоклиматических реконструкций последних тысячелетий. В отличие от других косвенных источников палеоклиматической информации, древесные кольца обладают рядом преимуществ. Во-первых, для построения дендрохронологических шкал требуется большое количество отдельных древесно-кольцевых серий, что в свою очередь позволяет получать абсолютно датированные серии высокого качества. Во-вторых, из-за сезонности прироста деревьев дендрохронологические ряды имеют годовое разрешение. Высокая продолжительность жизни некоторых видов деревьев, а также их широкое распространение делает дендроклиматический анализ привлекательным для целей палеореконструкций.

Камчатка является одним из ключевых районов, дендрохронологические реконструкции которой, используются для анализа изменчивости, например, Тихоокеанской декадной осцилляции [1, 2]. Кроме того, построенные для Камчатки древесно-кольцевые хронологии (ДКХ) были успешно использованы для получения полушарных и глобальных реконструкций температуры воздуха [3]. Полученные ранее ДКХ для Камчатки являются основой для сравнения с другими рядами данных, например с данными аккумуляции из керна ледника Ушковский [4], вулканической активности и др. При этом последние работы по отбору образцов велись в конце 1990-х — начале 2000-х, а значит последние десятилетия с наблюдаемыми климатическими изменениями не охвачены дендрохронологическим материалом.

Основная цель данного исследования — изучить климатический отклик лиственницы, растущей на Камчатке. Для этого необходимо выполнить следующие задачи: 1) построить ДКХ на основе различных параметров лиственницы на трёх площадках; 2) оценить климатический сигнал, заключённый в ширине и плотности колец лиственницы.

Таблица 1. Отобранные дендрохронологические площадки на полуострове Камчатка.

Площадка	Координаты		Количество деревьев	Количество кернов	Длина хронологии
	N	E			
E07L	55.9609	160.2106	10	19	1727–2022 (296 лет)
E13L	56.0587	158.9665	19	34	1658–2022 (365 лет)
E14L	55.935	158.6285	11	21	1747–2022 (276 лет)

В ходе экспедиционных работ в 2023 г. сотрудниками лаборатории дендрохронологии ИГ РАН были заложены дендрохронологические площадки (табл. 1). Поиск деревьев осуществлялся в соответствии с принципами дендроклиматологии — на склонах гор на экотоне верхней границы леса. Бурение древесины осуществлялось возрастным буром Пресслера на высоте 1,3 м. Дальнейшая работа проводилась в дендрохронологической лаборатории ИГ РАН. В первую очередь из полученных кернов удалялись смолы в аппарате Сокслета в растворе этанола в течение 48 часов. Далее керны наклеивались на деревянные подложки, а их поверхность была зачищена с помощью микротомы. Процессу сканирования предшествовала процедура калибровки сканера с помощью цветных карточек. Керны, покрытые коробкой чёрного цвета, сканировались в разрешении 3200 dpi [5]. Дальнейшая работа по измерению ширины и оптической плотности проводилась в специализированной дендрохронологической программе CooRecorder. Перекрёстное датирование было выполнено в программе CDendro, корректность измерений проверялась в программе COFECNA [6]. Локальные хронологии по ширине годовых колец были получены путём включения отдельных серий в итоговую хронологию методом робастного двухвесового среднего. В качестве аппроксимирующей кривой были выбраны отрицательная экспонента и линейная регрессия, а индексы получены отношением. Индексы хронологии оптической плотности, напротив, получаются вычитанием из значения аппроксимирующей кривой реального значения. Дальнейшая работа с дендрохронологическими рядами велась в программе dplR. Для оценки связей между дендрохронологическими и климатическими рядами были использованы коэффициенты корреляции Пирсона. Статистическая значимость коэффициентов регрессии оценена бутстреп-методом. Период, за который получена климатическая функция отклика,

ограничен продолжительностью инструментальных наблюдений (1901–2022 гг.). Дендрохронологические ряды сравнивались с климатическими данными за 15 месяцев (с июня предыдущего года по сентябрь текущего года). Дендроклиматический анализ был проведён дендрохронологическом пакете TreeClim [8], реализованный в среде R. В работе были использованы ряды инструментальных наблюдения среднемесячной температуры и осадков сеточного архива CRU TS 4.07 [9] из ближайшего узла точки (55.75 с. ш., 160.75 в. д. и 55.75 с. ш., 158.75 в. д.).

Всего таким образом было измерено 74 образца по ширине годичного кольца (RW), оптической плотности поздней древесины (dBI). Все серии, прошедшие процедуру перекрёстной датировки, стали основой для построения хронологий. Полученные для трёх площадок хронологии по ширине и оптической плотности колец достигают продолжительности от 276 до 365 лет (табл. 1). Обеспеченность хронологий материалом варьирует от 19 до 34 кернов.

Полученные хронологии можно оценить на предмет наличия трендов. Так, в хронологии по ширине годичных колец наблюдается положительный тренд с конца 19 в. — начала 20 в. Хронология по оптической плотности также имеет ярко выраженный положительный тренд, начиная с конца 19 в., однако тренд становится отрицательным в последние десятилетия (рис. 1).

Результаты дендроклиматического анализа представлены на рис. 2, из которого видно, что самая чувствительная хронология лиственницы обнаружена нами на площадке E07L. Так, прирост лиственницы определяется изменчивостью летних температур с мая по сентябрь ($R = 0.274$ до 0.447). Также обнаружена положительная связь температурами предыдущего года в июле и сентябре ($R = 0.31, 0.22$). Помимо этого, на прирост отрицательно влияет избыточное количество выпавших осадков в июне ($R = -0.247$) и положительно в марте ($R = 0.240$). Оптическая плотность на данной площадке также зависит от изменчивости летних температур (рис. 3), но лишь отдельных месяцев — июня, августа и сентября ($R = 0.322, 0.382$ и 0.253). Влияние осадков на оптическую плотность хронологии E07L не обнаружено.

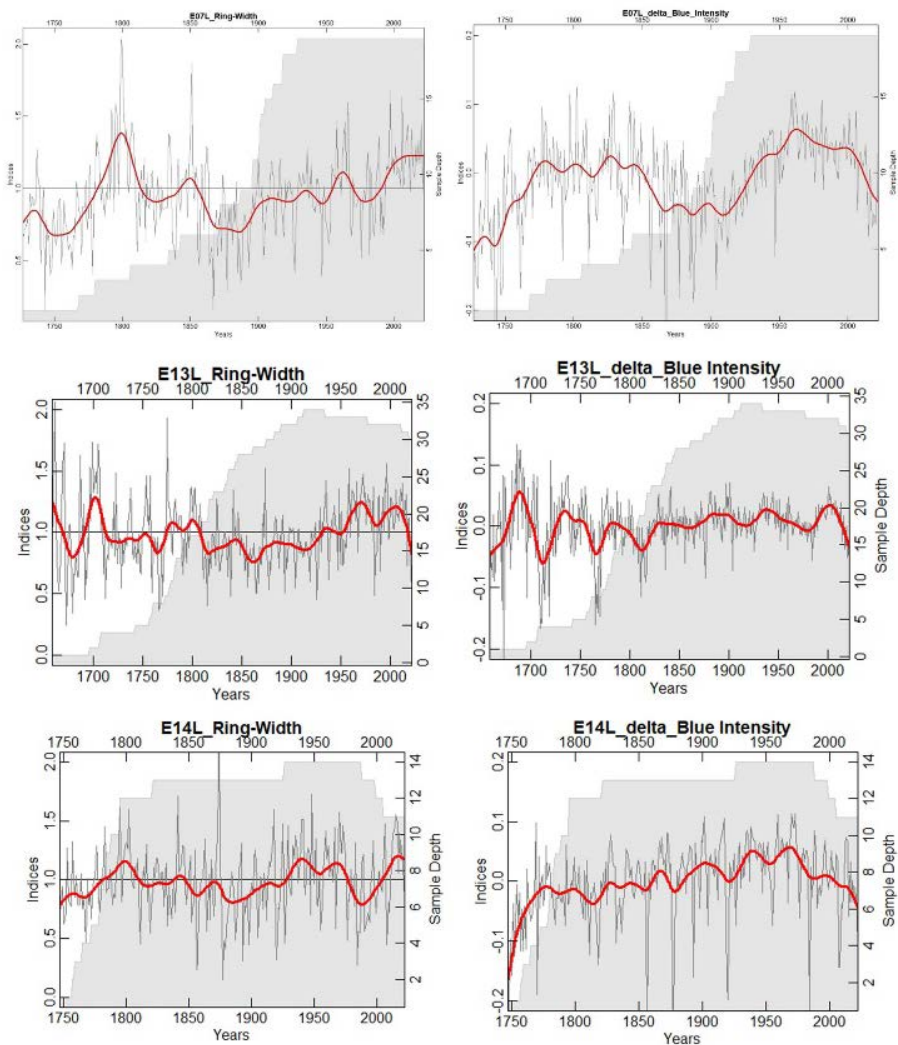


Рисунок 1. Стандартные локальные хронологии, построенные на основе ширины годовичных колец (слева) и оптической плотности поздней древесины (справа). Красной линией показаны скользящие 30-летние средние.

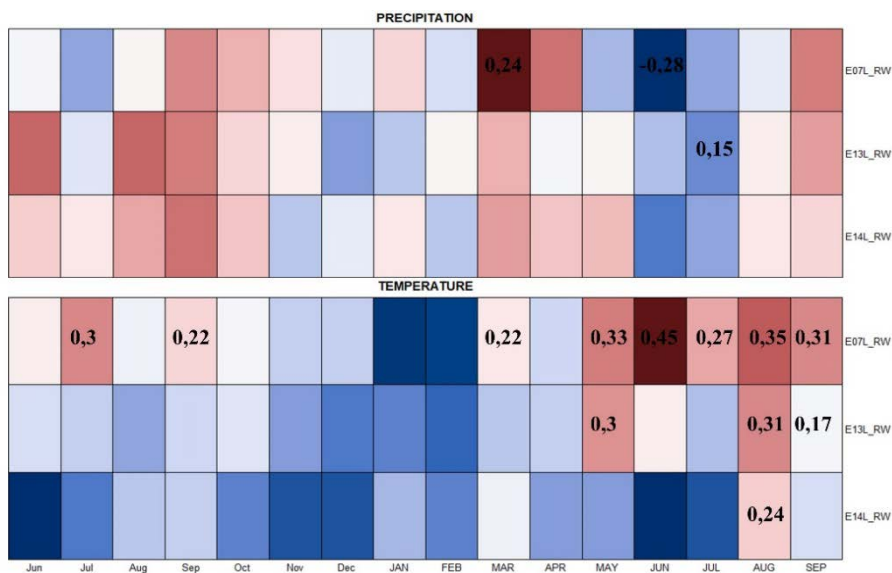


Рисунок 2. Коэффициенты корреляции Пирсона, полученные при сравнении ДКХ по ширине годичных колец со среднемесячными осадками и температурой за период 1901–2022 гг.

Строчными буквами обозначены месяцы предыдущего года, прописными — текущего. Цифрами обозначены значимые коэффициенты ($p < 0,05$). Цветовая гамма соответствует положительным (красные) и отрицательным (синие) коэффициентам корреляции.

Похожий сигнал, обнаружен и для образцов на площадке E13L — прирост лиственницы зависит от температуры воздуха мая, августа и сентября ($R = 0.303$, 0.309 и 0.167) и от осадков в июле ($R = 0.148$) (рис. 2). При этом связь оптической плотности с температурой воздуха ограничивается двумя месяцами — августом и сентябрём ($R = 0.239$ и 0.215) (рис. 3). Климатическая чувствительность у деревьев, растущих на площадке E14L самая низкая. На прирост лиственницы положительное влияние оказывает только температурный режим, наблюдаемый в августе ($R = 0.239$) (рис. 2), в то время как оптическая плотность на данной площадке не имеет связей с температурным режимом лета (рис. 3).

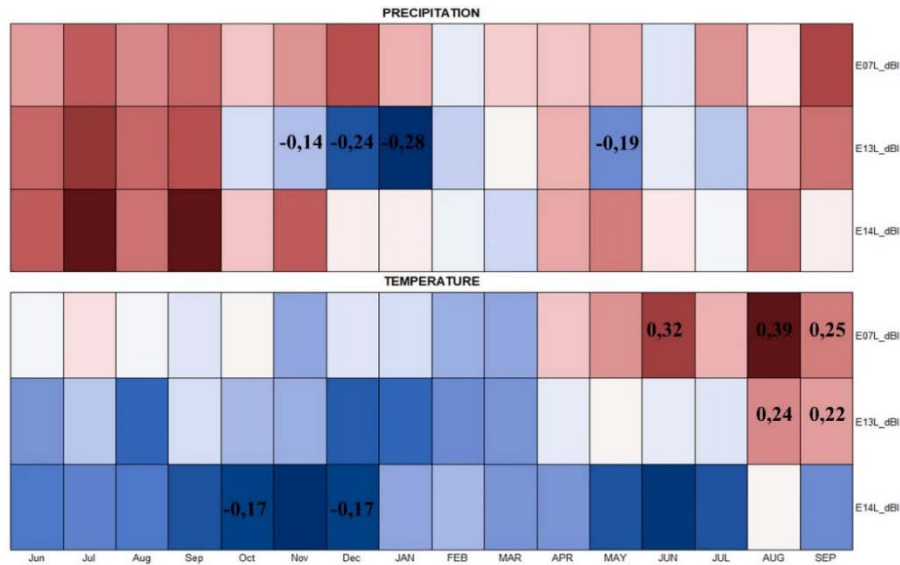


Рисунок 3. Коэффициенты корреляции Пирсона, полученные при сравнении ДКХ по оптической плотности годовых колец со среднемесячными осадками и температурой за период 1901–2022 гг.

Строчными буквами обозначены месяцы предыдущего года, прописными — текущего. Цифрами обозначены значимые коэффициенты ($p < 0,05$). Цветовая гамма соответствует положительным (красные) и отрицательным (синие) коэффициентам корреляции.

Таким образом, результаты дендроклиматического анализа указывают на наличие чёткого лимитирующего прирост лиственницы фактора — температуры воздуха лета. При этом самая сильная связь обнаружена для площадки, расположенной на самом высоком гипсометрической уровне (E07L, $H = 933$ м над ур. м.). У лиственниц на площадке E13L, растущих на крутом склоне уже более низкого уровня — около 390 м над ур. м. — зависимость от изменчивости температур воздуха лета всё ещё сохраняется, однако сама связь становится слабее и даже пропадает в некоторые месяцы. Лиственницы, растущие на выположенном участке площадки E14L, имеют самый слабый сигнал в ширине годовых колец и его полное отсутствие в летние месяцы у оптической плотности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. d'Arrigo R., Villalba R., Wiles G. Tree-ring estimates of Pacific decadal climate variability // *Climate dynamics*. 2001. Vol. 18. P. 219–224.
2. Fang K. [et al.]. Synchronous multi-decadal climate variability of the whole Pacific areas revealed in tree rings since 1567 // *Environmental Research Letters*. 2018. Vol. 13, № 2. P. 024016.
3. Anchukaitis K. J. [et al.]. Last millennium Northern Hemisphere summer temperatures from tree rings: Part II, spatially resolved reconstructions // *Quaternary Science Reviews*. 2017. Vol. 163. P. 1–22.
4. Solomina O., Maximova O., Cook E. *Picea schrenkiana* ring width and density at the upper and lower tree limits in the Tien Shan Mts (Kyrgyz Republic) as a source of paleoclimatic information // *Geography, Environment, Sustainability*. 2014. Vol. 7, № 1. P. 66–79.
5. Rydval M., Larsson L. Å., McGlynn L., Gunnarson B. E., Loader N. J., Young G. H., Wilson R. Blue intensity for dendroclimatology: should we have the blues? Experiments from Scotland // *Dendrochronologia*. 2014. 32(3). P. 191–204. DOI 10.1016/j.dendro.2014.04.003
6. Grissino-Mayer H. D., Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA // *Tree-Ring Res.* 2001. 57. P. 205–221.
7. Bunn A. G. A dendrochronology program library in R (dplR) // *Dendrochronologia*. 2008. 26. P. 115–124. DOI 10.1016/j.dendro.2008.01.002
8. Zang C., Biondi F. treeclim: an R package for the numerical calibration of proxy-climate relations // *Ecography*. 2015. Vol. 38, № 4. P. 431–436.
9. Harris I., Jones P. D., Osborn T. J., Lister D. H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 dataset: updated high-resolution grids of monthly climatic observations // *Int. J. Climatol.* 2014. 34. P. 623–642. DOI 10.1002/joc.3711

**Разработка географически стратифицированного набора
обучающих и проверочных выборок для автоматизированной
оценки состояния древесной и кустарниковой растительности
Центральной Азии**

И. Л. Еремеева ¹

¹Национальный исследовательский университет

«Высшая школа экономики»,

109028, Москва, Покровский бул., 11, ileremeeva@edu.hse.ru

В странах Центральной Азии существует ряд проблем по сбору, обновлению и обработке геопространственной информации о состоянии окружающей среды. Данные трудности напрямую связаны с тем, что определения, которые были даны странами для объяснения понятий «лесная и кустарниковая растительность», сильно отличаются от стандартов, принятых международными организациями, в частности ФАО. Причиной отличий в ряде случаев становились национализация целей в области устойчивого развития, предложенных ООН, или преемственность определений из статистической системы СССР.

Существует несколько способов выделения леса как категории. На данный момент в мире около 1700 определений леса. Их можно поделить на три группы: административные, землепользовательские и растительного покрова [1]. Основу первого типа составляет юридический подход к земле, при котором минимальное внимание уделяется растительности, находящейся на ней и её характеристикам. Землепользовательский тип определяется тем, как используются лесные земли. Земли, которые полностью или частично не используются, не должны считаться лесными угодьями, если в силу особых условий эти определения могут не отражать земной покров. Третий тип выделяет лес с точки зрения лесного покрова. Большое внимание уделяется характеристикам растений: количеству древесной массы, проценту, отражающего площадь, покрытую экземплярами, размер которых больше минимального, количеству стволов в дереве и др.

Национальные определения Киргизии [2], Узбекистана [3], Таджикистана [4] не очень близки к данному ФАО [5] (являющемуся ключевым в рамках выполнения данного проекта), так как вариант от продовольственной организации относится к типу растительного покрова, а версии, предложенные странами, ближе к административному и земле-

пользовательскому типам определений «леса». В них есть ряд схожих признаков — в трёх законодательствах говорится, что лес — это взаимосвязанная совокупность деревьев, кустарников и других природных объектов, сообщаемая с окружающей средой, влияющей на неё, и выполняющая ряд функций от экологических до экономических.

В ФАО [5] под кустарниками подразумевают древесную многолетнюю растительность, высотой от 0,5 до 5 метров в зрелом состоянии, не имеющая главного стебля-ствола и сформированной кроны. В законодательстве Узбекистана [3] и Таджикистана [4] нет отдельного определения кустарника. В Киргизском лесном кодексе [5] кустарники — многолетняя древесная растительность, имеющее множество стеблей, ветвящихся около корня, при отсутствии основного ствола.

При общей площади лесов в Киргизии составляет 1 315,38 га, лесистость страны равняется 8%. В основном лесные массивы в Кыргызстане приурочены к горам [6] и делятся на территории с менее плотным произрастанием древесной растительности (большая часть территорий) и с более плотным лесным покровом (остались только в труднодоступных участках). В северо-восточной части Кыргызстана лесные массивы окружают озеро Иссык-Куль, а их основу составляет ель Шренка (рис. 1).



Рисунок 1. Схема произрастания еловых лесов.

На склонах Алайского хребта, где намного суше и теплее, преобладают арчовые леса (в распространении арчи также можно наблюдать поясность (рис. 2), в долинах рек распространены пойменные (тугайные) леса.



Рисунок 2. Схема произрастания арчовых лесов.

Южная часть Кыргызстана выделяется благодаря огромным территориям, занятым плодово-ореховыми лесами, на данный момент имеющими особый охранный статус. Спецификой данного типа лесов является большое разнообразие видов, которое в последствии может использоваться в селекции как генетический фонд [7]. Данный тип лесов в Центральной Азии имеет следующее высотное распределение (рис. 3).

Также на территории Кыргызстана распространены лесные площади, покрытые яблоками, алычой, грушей, сливой, но они находятся в крайне запущенном состоянии, а более половины продукции, производимой данными лесными массивами, не вывозится из них по причине низкого уровня организованности сбора. В Киргизии есть вид-эндемик, имеющий особый охранный статус — пихта Семёнова, занимающий небольшую площадь на Таласском и Чаткальском хребтах. Данная территория получила статус заказника.



Рисунок 3. Схема произрастания орехово-плодовых лесов.

Площадь лесов Таджикистана самая маленькая из трёх стран, рассматриваемых в данной работе, и составляет 423,8 тыс. га [8]. На данный момент лесистость составляет 2,9%, хотя известно, что в XIX веке она была около 25%. Причинами снижения являются рост численности населения, потребности в древесине (топливе), перевыпасе скота и расчистки территории под хлопковые поля [9], также до 1956 года в Таджикистане не было запрета на заготовку древесины сплошными и выборочными рубками. Гражданская война в Таджикистане в 1990-х годах и отказ в поставках электроэнергии из РФ после развала СССР тоже сильно повлияли на сокращение лесов. В целом, лесные массивы этого государства довольно разнообразны, их можно разделить на пять типов. Первый — широколиственные мезофильные леса или горное чернолесье, аналог орехово-плодовых лесов Киргизии — их основной ареал расположен на Памиро-Алтайской системе, в основном их можно найти на таких хребтах, как Гиссарский, Вахшский, Алайский и Петра I. Горное чернолесье предпочитает располагаться на высотах с отметками от 1000 до 2300 м. В данном типе лесов можно встретить Грецкий орех, Платан Восточный, яблоню Сиверса и разные виды клена [10]. Тугайные леса — высокосомкнутые заросли из тополя и лоха, гребенщика Майерса и дерезы волосистотычинковой, тростниковых и рогозовых формаций.

Мелколистные микротермные горные леса или светлоселье — распространены в поймах всех горных рек, по всем хребтам от уровня 1500 м и до верхней границы леса. В зависимости от абсолютной высоты мелколиственные леса представлены древесными породами — березой, тополем, облепихой, ясенем. Шибляк — это формации из низкорослых низкосомкнутых насаждений лиственных пород, наиболее приспособленные к длинному засушливому лету и короткой зиме — миндаль бухарский, фисташка, майкараган, багряник, сумах. Пятый вид — арчовники — сообщества с господством хвойных деревьев, в частности разными видами арчи, такими же, как и в Кыргызстане.

В Узбекистане площадь лесов составляет 3 689 тыс. га, а лесистость — около 7%. Большинство лесных массивов выполняют защитные функции, сокращая эоловый перенос песка, предотвращая эрозию (в том числе солевую), а также регулируют речной сток. Всего в Узбекистане можно встретить четыре различных основных типа лесов [11]. Леса в засушливых районах — саксауловые деревья и кустарниковые заросли на пустынных равнинах покрывают почти территории страны, а саксаул и тамариск составляют 66% и 5%, соответственно, от всех деревьев в Узбекистане. Широколиственные леса — предпочитают склоны южной экспозиции и чаще всего представляют собой разреженные насаждения (плотность — около 35%), состоящие из разных видов клёна и ореховых пород. Горные леса с мозаичным распределением — леса, в которых выделяется два типа — орехово-плодовые леса и арчовые леса. Высокогорные арчовники — перевыпас скота превратил их в разреженные насаждения с плотностью 0,2–0,5. Тугайные леса — предпочитают местоположения с уровнем залегания грунтовых вод около 1–2 метров на поймах рек (н-р, Сырдарья и Чирчика).

После того как были изучены характеристики лесной и кустарниковой растительности и их ареалов произрастания, необходимо было построить схему районирования территории. Для этого был проведен анализ описаний растительности и их местообитаний и найдены территории со схожими признаками — с похожими типами лесов и условиями произрастания. Также были подобраны подходящие космоснимки, демонстрирующие ключевые виды. В результате было выделено 8 районов (рис. 4): Иссык-Кульский еловых лесов — данный район находится на се-

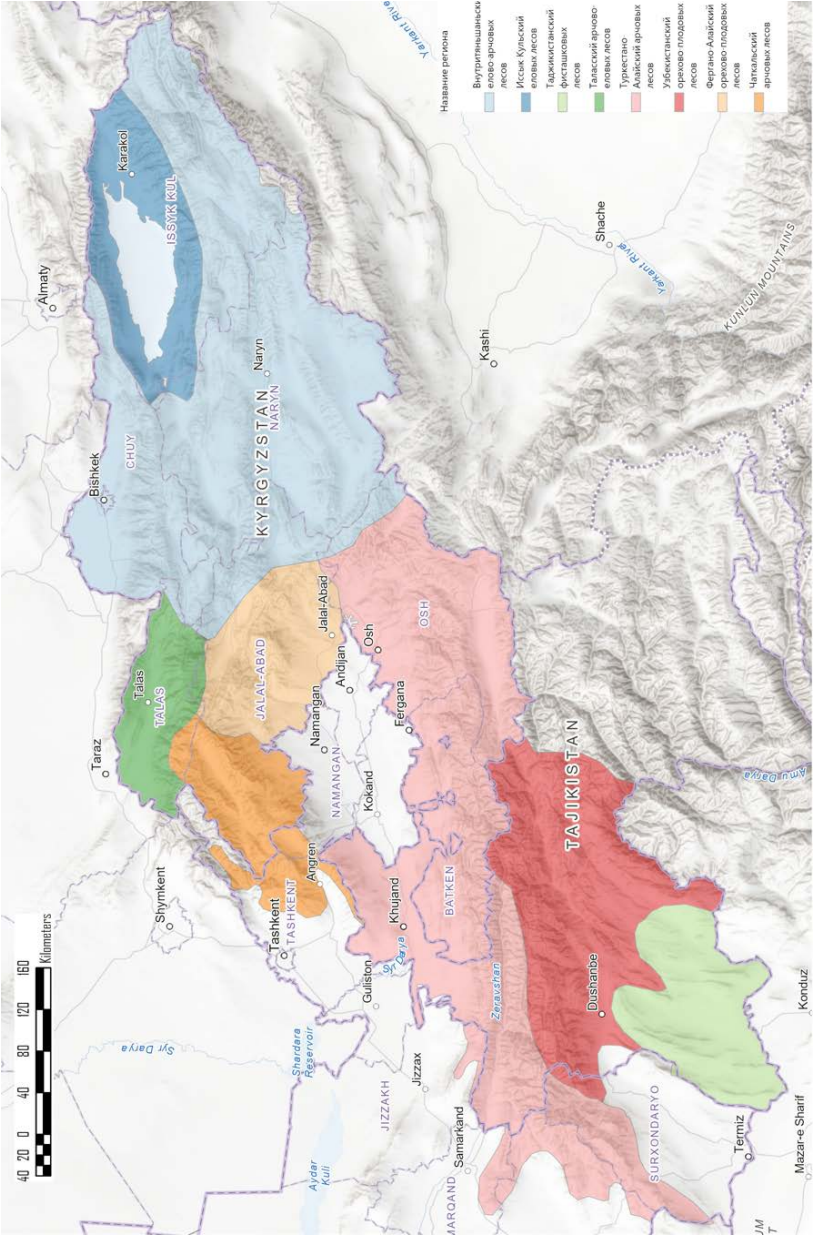


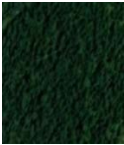
Рисунок 4. Схема районирования территории в масштабе 1 : 4 500 000.

веро-востоке Киргизии и окружает озеро Иссык-Куль. Ключевой породой является ель Шренка, но встречаются небольшие площади, покрытые арчей Полушаровидной и арчей Туркестанской. Внутритяньшанский елово-арчевых лесов — находится чуть западнее Иссык-Кульского, хвойные породы преобладают, но теперь количество арчи увеличивается, а площадь, покрытая еловыми лесами, сокращается, но ель Шренка всё ещё доминирует. Таласский арчево-еловых лесов — арча туркестанская и полушаровидная начинает превалировать над еловыми формациями. Чаткальский арчевых лесов — находится южнее Таласского района, большая территория в нём принадлежит арче полушаровидной. Туркестано-Алайский арчевых лесов — поясом располагается между Таджикистаном, Узбекистаном и Кыргызстаном, основной породный состав составляют различные виды арчи. Таджикистанский широколиственных и плодовых лесов — находится южнее Туркестано-Алайского района, по большей части массивы состоят из кустарников, кленовых и плодовых (н-р, яблоня, груша) лесов. Таджикистанский фисташковых лесов — самый южный район, преобладают фисташковые леса. Фергано-Алайский плодовых лесов — «центральный» район, основной породный состав — грецкий орех, фисташка, а также различные виды плодовых деревьев (н-р, яблони, вишни).

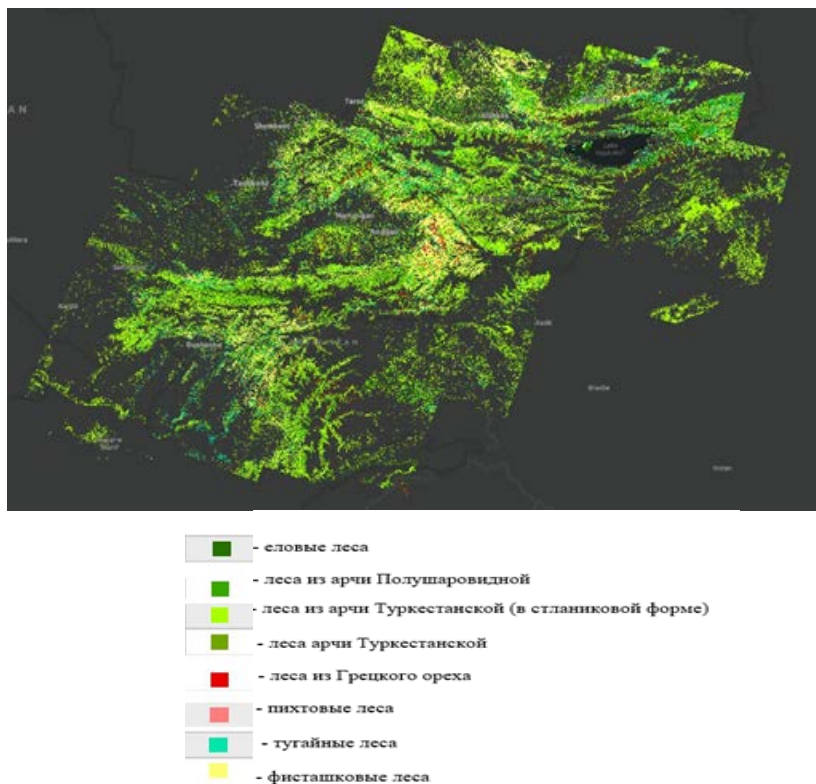
Тугайные леса — леса, располагающиеся около рек, расположены во всех вышеуказанных районах (на карте не указаны). Схема районирования охватывает не всю территория Узбекистана, Киргизии и Таджикистана, а только её лесистые участки. В схему не входит большая часть Таджикистана, покрытая пустынями и степями, Ферганская долина, практически полностью распаханная под сельскохозяйственный земли, горная восточная часть Таджикистана, покрытая единичными деревьями и кустарниками, трудно поддающаяся дешифрированию, а также территория озера Иссык-Куль.

Следующим шагом для подобранных районов была создана таблица эталонов (табл. 1) для ведущих типов лесов по нескольким категориям сомкнутые, разреженные, граничные и др., а также подобраны следующие дешифровочные признаки: текстурные — форма кроны, форма тени, отбрасываемой деревом, сезонные изменения цвета и цвет в комбинации «искусственные цвета», спектральные — значения трех индексов: NDVI, NDMI, SAVI. По эталонам была создана обучающая выборка.

Таблица 1. Пример таблицы дешифровочных признаков для оценки состояния лесной и кустарниковой растительности.

Район	Лесообразующая порода	Характер лесной растительности	Изображение на космоснимке	Дешифровочные текстурные признаки	Значения индексов (дешифровочные спектральные признаки)
Иссык-Кульский еловых лесов	Ель Шренка	Сомкнутые структуры		Крона дерева сходится в одну точку, отсутствие различий на зимних и летних снимках, более темный бордово-красный оттенок в «искусственных цветах» (комбинация 5–4–3 каналов), деревья образуют плотный полог, промежутки между деревьями не заметны. Деревья плотно расположены друг к другу, поэтому тяжело отличить одно дерево от другого	Среднее: NDVI ± 0.26 NDMI ± 0.15 SAVI ± 0.39 Стандартное отклонение: NDVI ± 0.037 NDMI ± 0.018 SAVI ± 0.055

Для того чтобы проверить качество выборки было принято решение провести классификацию разными способами. Для этого использованные в работе космические снимки были загружены в программу Scanex Image Processor, затем были проведены классификации. В первой — Normal Bayes (Наивный байесовский классификатор) были использован полный массив снимков. Несмотря на то, что байесовский классификатор дает довольно шумный результат на попиксельной классификации, в целом, классификация показала себя хорошо, по ней хорошо были отображены все типы лесов, хотя на некоторых участках из-за шумовой нагрузки участки открытой почвы были засчитаны классификатором за участки, покрытые разреженными породами (рис. 5).



Следующим шагом была проведена классификация по способу Random Trees (ансамблевый классификатор «случайный лес» / случайные деревья) (рис. 6), который использует ансамбль дерева решений, дала более успешный результат, так как к исходной выборке были добавлены классы водных объектов, открытой почвы, ледников и сельскохозяйственных угодий. Классификация проводилась по отдельным снимкам.

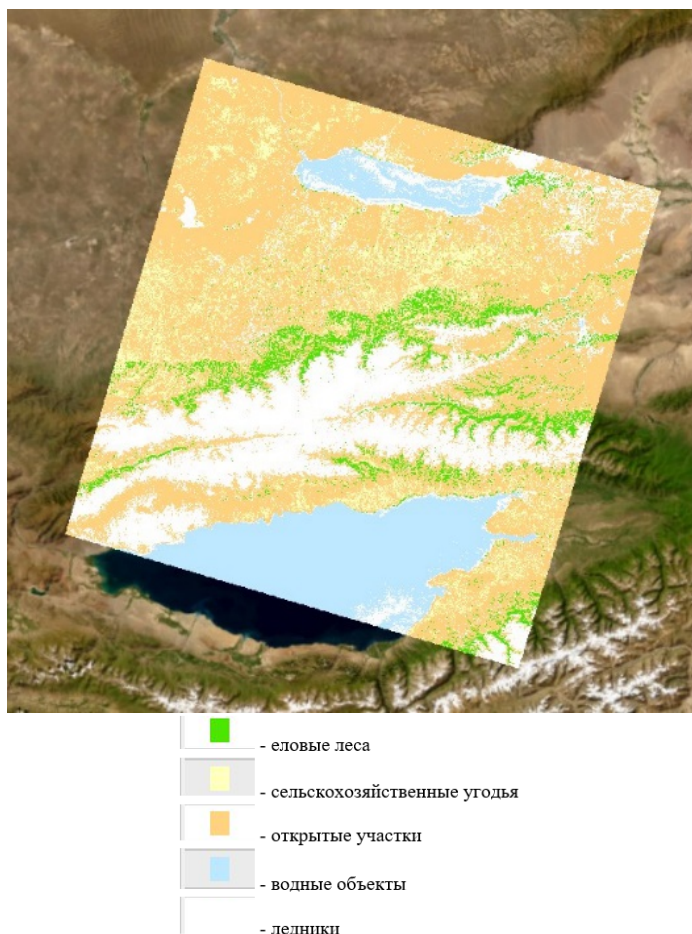


Рисунок 6. Результат проведения классификации по способу Random Trees.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Watson R. T. [et al.]. Land use, land-use change and forestry: a special report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press 2000.
2. Лесной кодекс Кыргызской Республики : от 8 июля 1999 года № 66 : с изменениями и дополнениями по состоянию на 01.04.2022 г.
3. О лесе : Закон Республики Узбекистан от 15.04.1999 г. N 770-I : Новая редакция, утверждена Законом РУз от 16.04.2018 г. N ЗРУ-475.
4. Лесной кодекс Республики Таджикистан : от 2 августа 2011 года № 761.
5. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Global Forest Resources Assessment 2020—Terms and Definitions // Int J Marine Coast Law. 2020.
6. Бикирова Н. С., Бикиров Ш. Б., Колов О. В. Современное состояние горных лесов Кыргызстана и перспективы их развития // Междунар. науч.-практ. конф. «Аграрная наука и образование — году Кыргызской государственности», посвящ. 70-летию Кыргызск. аграрн. ун-та. Вып. 2, Ч. 1. Бишкек, 2003.
7. Ган П. А. Лесной фонд Киргизии за последние 50 лет и его современное состояние // Проблемы освоения гор. Фрунзе, 1982. С. 94–115.
8. Khukmatullo Akhmadov [и др.]. Краткий национальный очерк о секторе лесного хозяйства и лесных товаров: Таджикистан. ООН: Нью-Йорк, Женева. 2000.
9. Сафаров Н. М. Дополнение к классификации растительности Таджикистана // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук. 2016. № 1–2. С. 7–21.
10. Сафаров Н. М. Дополнение к классификации растительности Таджикистана // Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук. 2016. № 1–2. С. 7–21.
11. Халимова М. Р. Зелёное богатство Узбекистана // Models and Methods for Increasing the Efficiency of Innovative Research. 2022. Т. 2, № 18. С. 14–17.

О времени существования ледника в верхнем течении р. Пяндж на Юго-Западном Памире

М. О. Ефимова¹, А. В. Панин², Е. В. Деев³, П. М. Сосин⁴,
М. С. Лукьянычева², Р. Н. Курбанов^{1,2}

¹МГУ им. М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Россия,
iakovlevam@geogr.msu.ru

²Институт географии РАН, 119017, Москва, Россия

³Институт нефтегазовой геологии и геофизики
им. А. А. Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия

⁴Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии
НАН Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

Введение

Памир — одна из высочайших горных систем в мире, расположенная в Центральной Азии. Ледники Памира являются источниками пресной воды для основных водных артерий региона — рек Амударьи и Сырдарьи. Помимо этого, горные хребты Памира расположены на границе влияния двух систем атмосферной циркуляции — западной и муссонной, поэтому изучение эволюции оледенения региона важно для понимания изменений климата в прошлом.

Вопрос о количестве, площади распространения и временных рамках плейстоценовых оледенений Памира остается дискуссионным. Одним из основных препятствий, наравне с труднодоступностью и суровостью климата, является различная степень сохранности следов древнего оледенения на Западном и Восточном Памире. На западе рельеф резко расчленен, перепады высот достигают 5–6 км, что обуславливает преобладание эрозионных форм. В то время как на востоке склоны гор расчленены слабо, а днища долин расположены на абсолютных высотах около 4 км. О древнем оледенении здесь можно судить по почти сплошному чехлу ледниковых отложений [1]. На основе геоморфологического и стратиграфического анализа А. Е. Додоновым на Восточном Памире были выделены четыре генерации морен, а на Западном Памире — два комплекса трогов и две генерации морен раннеплейстоценового, среднеплейстоценового, позднеплейстоценового и голоценового оледенений соответственно [2]. С началом XXI века благодаря применению методов абсолютной геохронологии были расширены знания об оледенении Памира в прошлом. Так, исследователи определили возраст

четырёх генераций морен на Восточном Памире, древнейшая из которых образовалась в среднем плейстоцене [3, 4]. На Юго-Западном Памире были найдены самые древние ледниковые формы рельефа Центральной Азии — курчавые скалы (≈ 142 тыс. лет) [5, 6]. Определено время локального LGM, который произошёл раньше, чем в других горных системах северного полушария [7, 8, 9]. Полученные результаты для различных районов Памира остаются разрозненными. Одним из наиболее интересных вопросов палеогеографии региона остается гипотеза о крупном долинном леднике, полностью заполнявшем участок долины Пянджа на юго-западе Памира [6]. Для проверки этой гипотезы нами выполнены работы в районе впадения в Пяндж небольшого притока — р. Сарышитхарв, где обнаружены серии озерных отложений на высоких геоморфологических уровнях.

Материалы и методы

Район исследования находится в долине реки Сарышитхарв — правого бокового притока реки Пяндж, на южном склоне Шахдаринского хребта в Юго-Западном Памире. На борту левого берега р. Сарышитхарв была выявлена серия лимногляциальных отложений мощностью 50 м, залегающих на морене. Отложения сложены тонкослоистыми алевроитами с прослоями тонкозернистых песков и включениями галечных линз.

Из озерных отложений было отобрано 25 образцов для ОСЛ-датирования. Пробоподготовка образцов с выделением зерен кварца и калиевых полевых шпатов (КПШ) проводилась в лаборатории ОСЛ-датирования МГУ/ИГРАН. Радиометрические измерения были проведены в Скандинавской лаборатории люминесцентного датирования (Роскилле, Дания) с помощью ридера Risø TL/OSL Reader Model DA-20. Датирование было выполнено для зерен песчаной фракции на основе измерения ОСЛ для кварца и инфракрасно стимулированной люминесценции (ИКСЛ_{50,290}) для зерен калиевых полевых шпатов.

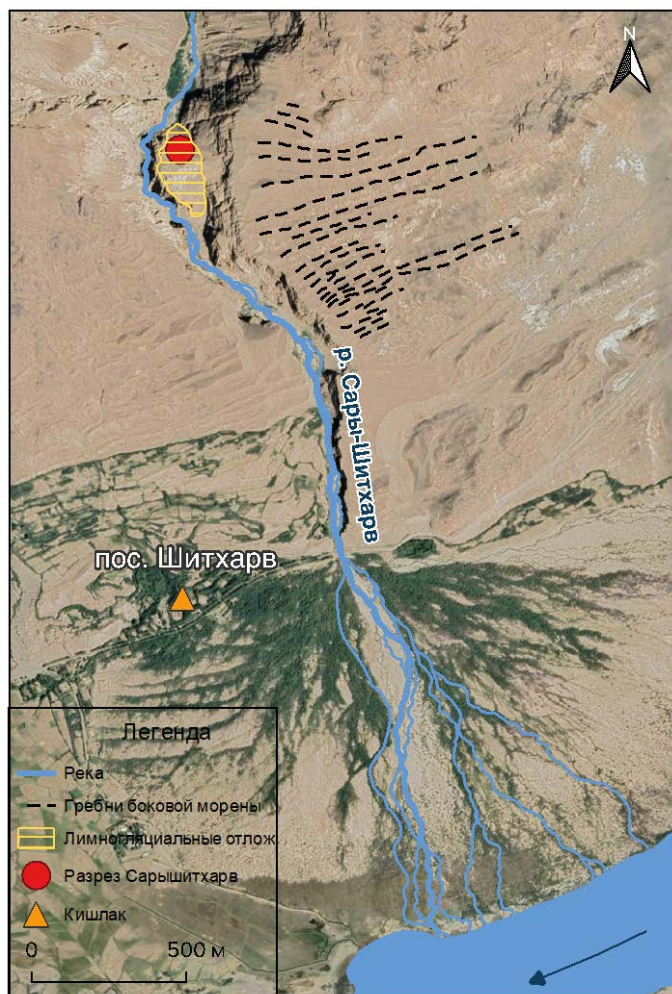


Рисунок 1. Район исследования — правый берег р. Пяндж.

Результаты

Хронология разреза Сарышитхарв строится на данных, полученных по зернам полевых шпатов. Кварц показал плохое качество люминесценции и медленно затухающий сигнал с низкой чувствительностью. Естественные сигналы ИКСЛ_{50,290} для нижней части разреза (ниже 48 м) находились в полном насыщении, возможно, из-за недостаточного

обнуления сигнала на ранних этапах существования палеоозера или более древнего возраста палеоозера (>300 тыс. лет назад). Для верхней части были получены серии возрастов ИКСЛ_{50,290} с дозой в диапазоне ≈612–650 Гр; соответствующие дозы ИК₅₀ составили 150–420 Гр. Мощности доз относительно высоки (4,2–4,8 Гр/тыс. лет), что характерно для отложений, формирующихся в результате эрозии гранитов. Результаты датирования показали средний возраст отложений по протоколу ИКСЛ_{50,290} близкий к концу МИС 6.

Таким образом, озеро в долине р. Сарышитхарв существовало в конце МИС 6 и было образовано в результате подпора существовавшим в долине р. Пяндж ледником. Полученные по озерным отложениям даты являются еще одним аргументом в пользу теории о том, что в среднем плейстоцене долина р. Пяндж была заполнена крупным ледником, который мог спускаться с юго-восточной части Памира, покрытой ледниковым щитом [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котляков В. М., Рототаева О. В., Лебедева И. М. [и др.]. Оледенение Памиро-Алая. М. : Наука, 1993. 256 с.
2. Додонов А. Е. Четвертичный период Средней Азии. М. : ГЕОС, 2002. 250 с.
3. Zech R., Uwe Abramowski, Bruno Glaser, [et al.]. Late Quaternary glacial and climate history of the Pamir Mountains derived from cosmogenic ¹⁰Be exposure ages // Quaternary research. 2005. 65. P. 212–220.
4. Owen L. A., Chen J., Hedrick K. A., Caffee M. W., Robinson A. C., Schoenbohm L. M., Yuan Z., Li W., Imrecke D. B., Liu J. Quaternary glaciation of the Tashkurgan Valley, Southeast Pamir // Quat. Sci. Rev. 2012. 47. P. 56–72.
5. Stübner K., Grin E., Hidy A. J., Schaller M., Gold R. D., Ratschbacher L., Ehlers T. Middle and Late Pleistocene glaciations in the southwestern Pamir and their effects on topography // Earth Planet Sci. Lett. 2017. 466. P. 181–194.
6. Stübner K., Bookhagen B., Merchel S., Lachner J., Gadoev M. Unravelling the Pleistocene glacial history of the Pamir mountains, Central Asia // Quaternary Science Reviews. 2021. Vol. 257. P. 1–15.
7. Abramowski U., Bergau A., Seebac D. [et al.]. Pleistocene glaciations of Central Asia: results from ¹⁰Be surface exposure ages of erratic boulders

- from the Pamir (Tajikistan), and the Alay–Turkestan range (Kyrgyzstan) // Quaternary Science Reviews. 2006. 25. P. 1080–1096.
8. Röhringer I., Zech R., Abramowski U., Sosin P., Aldahan A., Kubik P. W., [et al.]. The late Pleistocene glaciation in the Bogchigir Valleys (Pamir, Tajikistan) based on ^{10}Be surface exposure dating // Quaternary Research. 2012. 78(3). P. 590–597.
 9. Zech R., Ines Röhringer, Pjotr Sosin [et al.]. Late Pleistocene glaciations in the Gissar Range, Tajikistan, based on ^{10}Be surface exposure dating // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2013. 369. P. 253–261.

Анализ транспортной доступности с использованием данных в формате GTFS

Ч. Б. Жанарбаев¹, А. М. Карпачевский¹

¹МГУ имени М. В. Ломоносова, Географический факультет,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1,

Chingiz.Zhanarbaev@student.msu.ru, karpach-am@yandex.ru

Оценка того, насколько система общественного транспорта отвечает потребностям жителей города, часто строится вокруг концепции транспортной доступности. В общем, под этим термином понимают потенциальную возможность достижения человеком необходимых ему пунктов назначения с использованием общественного транспорта [1]. Эта доступность непрерывно изменяется под воздействием социально-экономической ситуации и процесса роста городов. В подобных условиях возникает все большая необходимость в качественных и количественных оценках как текущих, так и возможных изменений в качестве услуг, предоставляемых городским транспортом, что особенно важно для крупных быстро развивающихся агломераций.

Множество существующих методик анализа сфокусированы на оценке транспортной доступности с учетом пространственного распределение населения и объектов интереса. Однако сосредоточенность на анализе пространственных аспектов транспортных сетей и потребностей населения, при отсутствии внимания к динамическим факторам, включая частоту движения транспорта и её вариативность в течение суток не позволяет в полной мере проанализировать картину транспортной обеспеченности.

Важным шагом на пути к решению этих проблем может стать использование в анализе данных в формате General Transit Feed Specification (GTFS). Этот открытый стандарт, созданный совместными усилиями Google и TriMet (транспортное агентство штата Орегон, США) в 2005 году, предоставляет формализованный механизм представления информации о маршрутах городского транспорта, включая расписания, что расширяет возможности анализа транспортной доступности.

В рамках данного исследования была разработана методика и проанализированы возможности анализа транспортной доступности, её изменений и динамики с использованием инструментов геоинформационного сетевого моделирования, а также произведен анализ изменений

транспортной доступности для города Санкт-Петербург за период 2017–2022 гг.

Для моделирования транспортной системы города Санкт-Петербург созданы два сетевых набора данных, основанных на улично-дорожной сети OpenStreetMap, а также каналах GTFS актуальных для 26 марта 2017 года и 23 марта 2023 года.

Ребрами полученного сетевого набора являются улицы, используемые для пешего перемещения с определенной скоростью и отрезками, отражающими рейсы общественного транспорта между остановками, для которых известно время отправления и прибытия. Для получения более достоверных результатов анализа были сформированы блоки (рис. 1), границы которых определяются улицами высокого иерархического уровня, полученные при этом участки существенно более достоверно, по сравнению с сеткой административно-территориального деления, отражают однородные единицы расселения.

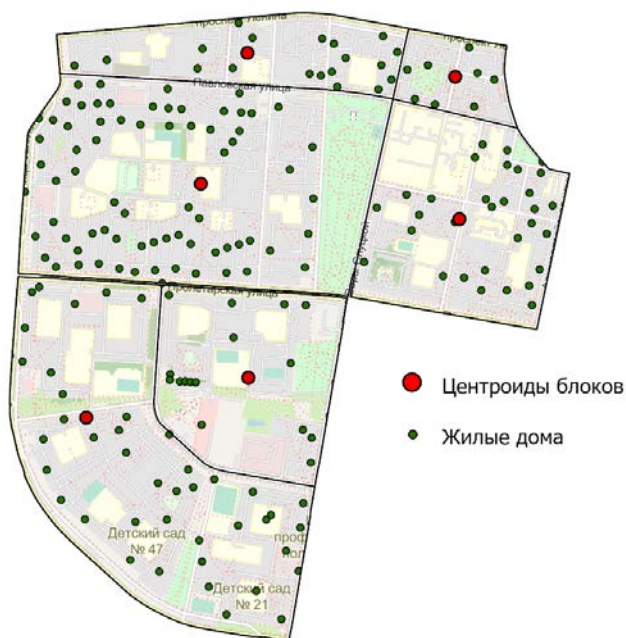


Рисунок 1. Блоки, разделенные улицами высокого уровня.

Оценка изменений транспортной доступности была проведена по трем критериям:

- 1) *Изменение числа жителей, проживающих в 60-минутной изохроне от центра блока.*

Данный показатель рассчитан при допущении, что население районов за период не изменилось, таким образом, он характеризует только развитие системы общественного транспорта. Помимо этого, он является легко интерпретируемым показателем, часто применимым при разработке муниципальной политики, оценке числа потенциальных клиентов, и планировании размещения пунктов обслуживания.

- 2) *Изменение средних интервалов движения наземного общественного транспорта.*

Частота движения определяет время ожидания на остановке, что часто является ключевым фактором при выборе между личным и общественным транспортом, также частота определяет допустимый пассажиропоток на линии.



3) *Изменение взвешенного среднего времени в пути до всех остальных районов (рис. 2).*

Данный показатель позволяет учитывать как меру преодоления пространства, так и привлекательность конечного пункта, таким образом он отражает общую выгодность положения блока относительно всего селитебного пространства и населения города.

По результатам анализа было установлено, что транспортная доступность для большинства частей города улучшилась, временные затраты на перемещение по городу снизились приблизительно на 8–10%, а уменьшение интервалов на линиях позволило лучше обеспечивать население густонаселенных спальных районов и снизило время ожидания транспорта на остановках. Основные изменения при этом вызваны двумя причинами:

- 1) Расширением Фрунзенско-Приморской линии метро и открытием станций «Проспект Славы», «Дунайская» и «Шушары».
- 2) Существенным обновлением сети наземного транспорта в результате реформы 2022 года.

Данное исследование показывает, что формат GTFS позволяет расширить потенциал геоинформационных методов моделирования транспортной доступности за счет учета временной компоненты функционирования сети общественного транспорта. Дальнейший потенциал применения GTFS в этой сфере связан с интеграцией транспортных данных с социально-экономической статистикой, что позволило бы более детально оценить соответствие транспортного «спроса» и «предложения», разработкой непроприетарных инструментов сетевого моделирования на основе GTFS, а также с интеграцией формата GTFS Real Time, который бы позволил повысить достоверность анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Todd L. Evaluating Accessibility for Transport Planning. Measuring People's Ability to Reach Desired Services and Activities. Victoria Transport Policy Institute, 2022.

Уменьшение взвешенного времени в пути до всех блоков города за март 2017 - март 2023

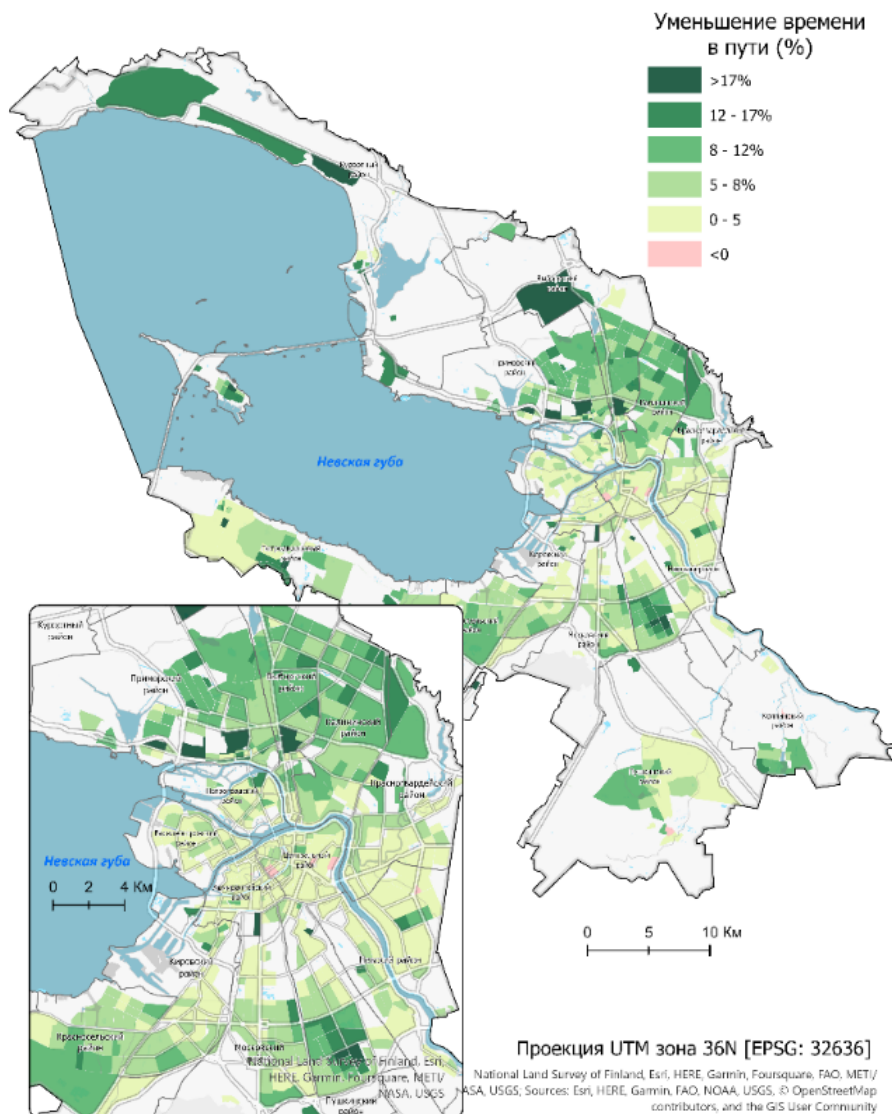


Рисунок 2. Уменьшение взвешенного времени в пути за период анализа.

Выявление поражённых короедом-типографом участков еловых лесов путём классификации космических изображений методом максимальной энтропии с обучающей выборкой

Е. С. Заславская¹, М. В. Зимин¹

¹МГУ имени М. В. Ломоносова, географический факультет,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1,
zaslavskayaes@my.msu.ru, ziminmv@mail.ru

Одним из наиболее известных стволовых вредителей леса является короед-типограф (*Ips typographus*). Это насекомое негативно воздействует на хвойные леса, в особенности еловые, прогрызая ходы в лубе деревьев. Его активной деятельности способствуют засушливые условия, вследствие которых у здоровых деревьев падает способность противостоять внешним угрозам [1], а и так угнетённые и старые ельники и вовсе теряют её.

При поражении древостоя еловым короедом деревья постепенно сохнут, приобретая характерный рыжеватый цвет хвои. Спустя какое-то время дерево окончательно погибает, теряя всю хвою. Эти стадии состояния леса хорошо прослеживаются на аэрофотоснимках и космических снимках сверхвысокого пространственного разрешения ввиду их характерных спектральных яркостей (рис. 1–3). Единственным способом борьбы с вредителем являются санитарные вырубki повреждённого леса [2] (рис. 4). Эти лесохозяйственные мероприятия следует проводить своевременно, так как при наличии какого-то количества короеда-типографа в пределах древостоя, он может начать распространяться на обратно ослабленные деревья, которые могли бы восстановиться при его отсутствии [3].

Дистанционные методы зондирования Земли позволяют вести мониторинг состояния лесов, оперативно выявлять очаги распространения короеда-типографа для оповещения местных лесничеств с целью принятия мер по противостоянию его губительного воздействия [4].

В результате данной работы были составлены схемы результатов автоматизированного дешифрирования с помощью бинарной классификации методом максимальной энтропии (MaxEnt method) двух космических снимков сверхвысокого пространственного разрешения спутниковых систем SPOT6 (съёмочная система NAOMI, разрешение 6 м, съёмка 21.08.2013) и Sentinel-2 (MSI, разрешение 10 м, съёмка 01.07.2022).

Классификация космических изображений методом MaxEnt осуществляется на основе обучающей выборки и предполагает собой создание растра, в каждой ячейке которого содержится значение вероятности (от 0 до 1) отнесения пикселя к классу исследуемого объекта.



Рисунок 1. Здоровый лес, Google Earth Pro, 04.07.2006.

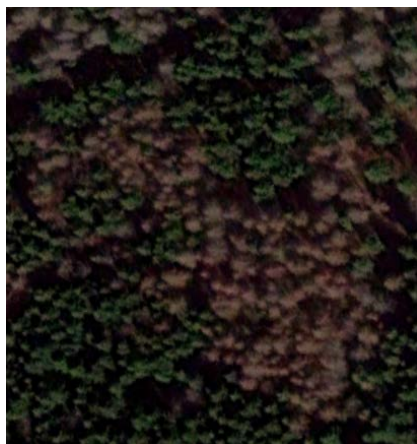


Рисунок 2. Пораженный типографом лес (свежая стадия), Google Earth Pro, 19.04.2013.



Рисунок 3. Пораженный типографом лес (поздняя стадия усыхания), Google Earth Pro, 25.09.2015.



Рисунок 4. Реакция лесничества — санитарная вырубка пораженных участков ели, Google Earth Pro, 01.06.2016.

Для достижения цели была разработана методика предварительной обработки данных дистанционного зондирования. Необходимо было собрать ряд эталонов (для обучающей выборки) и установить область интересов (AOI, area of interest), для ограничения экстенда классификации изображения с целью исключения ошибочных определений класса «деревья, поврежденные короедом-типографом». Средствами инструментария Google Earth Pro было установлено 150 эталонов на 2013 год и 50 эталонов на 2022 год для формирования обучающей и тестовой выборки. Последняя была отобрана с целью верификации результатов классификации. Область интересов классификации установим с помощью создания и квантования производного изображения (от снимка системы Landsat 7 (OLI), 07.03.2003) с вегетационным индексом NDVI. Был выбран ранневесенний снимок с целью выделения только лесных массивов, иначе на более позднем снимке в значимый диапазон попадали также и активно вегетирующие луга.

Вследствие этой операции получена битовая маска с классами «лесной массив» и «все остальные объекты» (рис. 5).

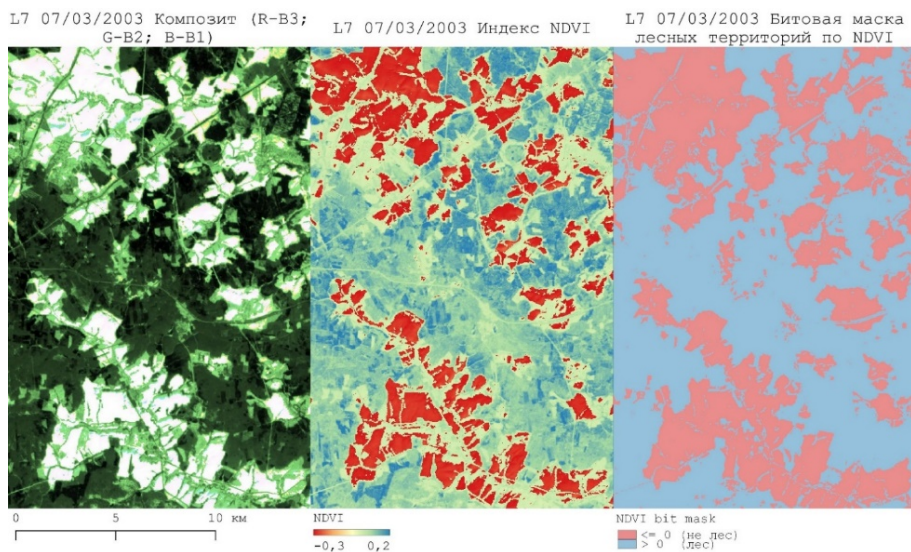


Рисунок 5. Исходное синтезированное изображение, индексное изображение NDVI и битовая векторная маска лесов.

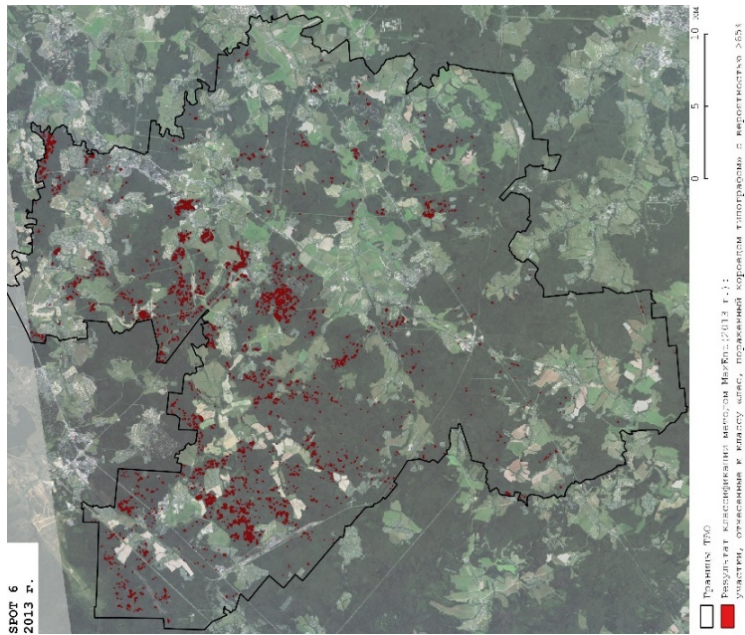


Рисунок 6. Результат классификации снимка SPOT 6 (NAOMI) 21.08.13 методом MaxEnt.

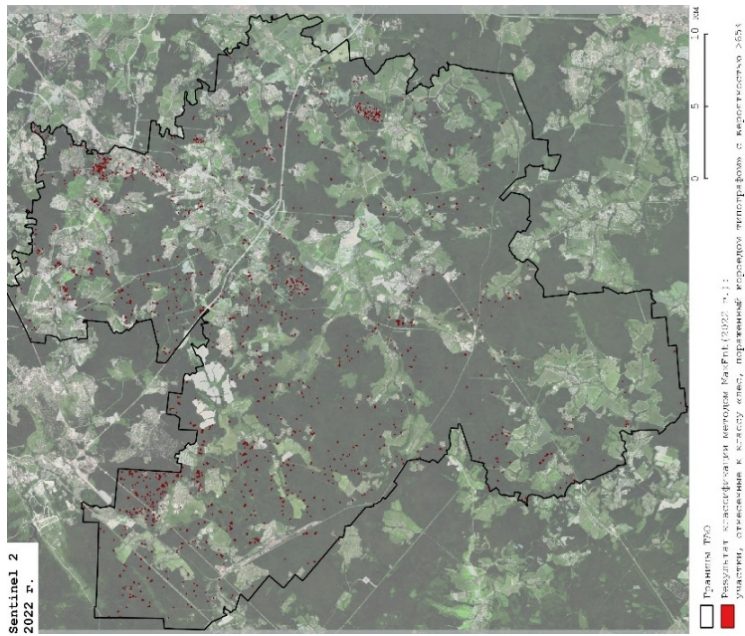


Рисунок 7. Результат классификации снимка Sentinel2 (MSI) 01.07.22 методом MaxEnt.

К классу «лесной массив» применялась классификация методом максимальной энтропии в ПО Scanex Image Processor. Получено два раstra вероятности на 2013 и 2022 годы, установлено оптимальное пороговое значение, наиболее соответствующее областям распространения типографа (рис. 6–7).

Для оценки результатов классификации полученные растры были векторизованы и с помощью оверлея с тестовыми эталонами, не задействованными в обучающей выборке, были рассчитаны простые оценки бинарной классификации (по матрице сопряженности бинарного классификатора).

В ходе анализа и сравнения результатов работы установлен факт сокращения площади лесных массивов в Троицком АО, поражённых типографом в период с 2013 по 2022 год (620.5 га, 0.67% от общей площади всех лесов ТАО; и 141 га, 0.14%, соответственно). Сделаны выводы о практической значимости и возможности применения разработанной методики с целью выявления пострадавших от короеда-типографа участков леса и возможного предотвращения распространения вредителя в пределах древостоя. Даны замечания и комментарии по отдельным этапам предобработки данных, которые могут быть учтены при дальнейшей работе с данной методикой или при её усовершенствовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мозолевская Е. Г., Липаткин В. А. Короед типограф продолжает губить ели // Защита и карантин растений. 2014. № 1.
2. Воронцов А. И. Лесная энтомология : Учебник для студентов лесохозяйств. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Высшая школа, 1982. 384 с.
3. Гниненко Ю. И., Хегай И. В. Динамика усыхания еловых лесов в Московском регионе // Лесохозяйственная информация. 2018. № 2.
4. Пирцхалава-Карпова Н. Р., Карпов А. А., Козловский Е. Е., Грищенко М. Ю. Защита еловых лесов от вспышек *Ips typographus* (обзор) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 4. С. 55–67.
5. Карпачевский М. Л. Природа Подмоскovie: утраты последних двух десятилетий. М. : Изд-во Центра охраны дикой природы, 2009. 92 с.
6. Коротков В. Н. Основные концепции и методы восстановления природных лесов Восточной Европы // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2017. № 1.

7. Крылов А. М., Владимирова Н. А. Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съемки // Геоматика. 2011. № 3. С. 53–57.
8. Маслов А. Д. Короед-типограф и усыхание еловых лесов. Пушкино : ФГУ ВНИИЛМ, 2010. 130 с.
9. 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.
10. Лесной кодекс Российской Федерации : от 04.12.2006, N 200-ФЗ : ред. от 13.06.2023.

**Морфолитогенез в крупных ориентированных западинах
Ейского полуострова на примере Воронцовской пади
в позднем плейстоцене**

А. Л. Захаров¹, Е. А. Константинов¹

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
zaanleo@gmail.com

На юге Восточно-Европейской равнины в зоне распространения лессовых пород широко представлен разнообразный западинный рельеф. Преимущественно это небольшие просадочные формы рельефа площадью до первых квадратных километров. В западном Предкавказье и Восточном Приазовье данный феномен приобретает крайне большие размеры. Некоторые западины здесь достигают площади десятков квадратных километров и имеют сложный рельеф в плане и сложное строение разреза, что обусловлено влиянием эолового фактора и климатических особенностей региона [1]. Данное исследование посвящено изучению особенностей рельефа и литологической структуры осадка в пределах Воронцовской пади, одной из крупнейших западин Ейского полуострова.

Отложения западины были опробованы в серии разрезов на бортах, в днище и на грядовом рельефе. Образцы анализировались рядом литологических методов. Гранулометрический анализ был выполнен на лазерном дифрактометре Malvern Mastersizer 3000. Показатели магнитной восприимчивости были получены на портативном каппаметре ZH-Instruments SM-150L. Поперечные профили, топография были получены с использованием геодезических методов (нивелир и тахеометр), а также данных дистанционного зондирования Земли, в частности цифровой модели рельефа SRTM-30. Осадочные толщи фотографировались при работе на разрезах, а отобранные монолиты фотографировались в лаборатории с использованием макрообъектива. Полученные шлифы анализировались на сканирующем микроскопе.

Полученные данные литологического состава отложений гряд и днища Воронцовской пади позволяют заключить, что по механическому составу они схожи с отложениями окружающих западину плакоров. Однако значительные отличия наблюдаются в стратиграфии и текстуре выполняющих падь отложений. Во-первых, очевидно стратиграфическое несогласие — мощность отложений в днище пади и в грядах значительно

ниже, чем на плакорах. Во-вторых, среднеплейстоценовая серия палеопочв, распространенная в ненарушенном виде на плакорах, отсутствует в строении днища и гряд. В-третьих, типичная для окружающих плакоров структура лессов изменена и нарушена.

Плоское днище Воронцовской пади повторяет общие очертания западины — имеет каплевидную форму в плане. Поверхность практически идеально выровнена и имеет четкие тыловые швы по периметру. Замкнутая чаша западины служит водоемом для сезонных озер, нередко возникающих весной и в результате паводков. В западной части днище резко переходит в грядовый рельеф, возвышающийся на 5–10 метров над днищем. Три четкие гряды вытянуты вдоль западины согласно длинной оси пади, и плавно переходят в плакор в виде четвертой, выположенной гряды. Осадок в днище не слоистый, монотонный и имеет плотную компоновку. Тогда как отложения гряд слоистые и состоят из разноразмерных агрегатов (рис. 1), сортированных по выдержанным слоям.

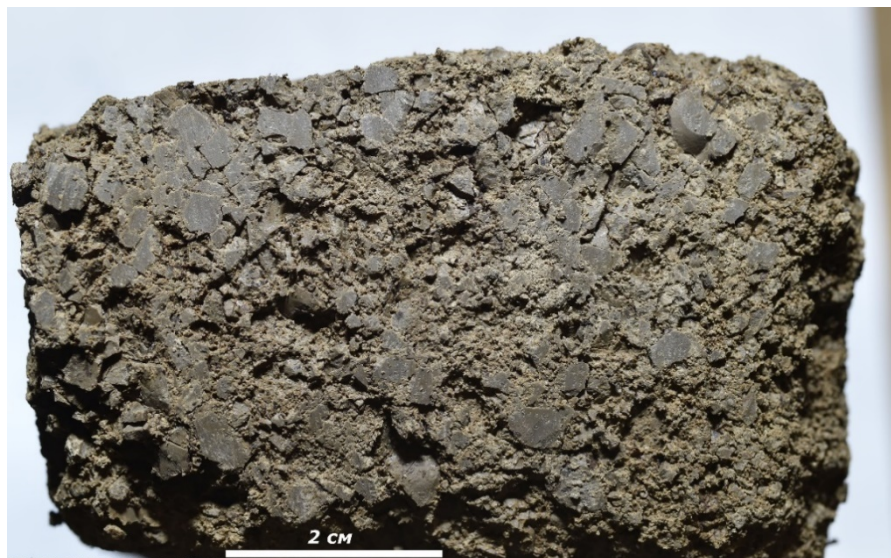


Рисунок 1. Фотография агрегатов в монолите, отобранного из слоя, образующего гряды в разрезе V5 Воронцовской пади.

Фото: И. Г. Шоркунов.

Как агрегаты в грядях, так и отложения днища или плакоров практически не отличаются между собой по механическому составу. Нами предложен механизм, объясняющий возникновение такой дифференциации структуры отложений в различных геоморфологических позициях. Днище Воронцовской пади, будучи переувлажненным и даже затопленным неглубоким водоемом (что так же объясняет его уплощенность и четкие тыловые швы, сформировавшиеся в результате береговой моделировки), в сухие периоды покрывалось прочной коркой, которая, растрескиваясь и дробясь вовлекалась в движение эоловыми процессами. Агрегаты песчаной и мелкогравийной фракции путем сальтации аккумуляровались к западу от днища в форме гряд. На данном этапе исследования стоит вопрос о строении самой западной гряды, которая отличается выположенностью и сохранностью в ней среднеплейстоценовой серии палеопочв.

Исследование выполнено при финансовой поддержке темы госзадания FMWS-2019-0008.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов Е. А., Захаров А. Л., Селезнева Е. В., Филиппова К. Г. Морфометрический анализ крупнозападинного рельефа на юге Восточно-Европейской равнины // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54, № 1. С. 99–111.

Стратиграфическое положение среднепалеолитических комплексов Русской равнины

Я. Д. Иванов^{1, 2}

¹Институт истории материальной культуры РАН,
191186, Дворцовая набережная, д. 18

²Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук
о Земле, 199178, г. Санкт-Петербург, 10-я линия В. О., д. 33–35

Активное освоение равнин Восточной Европы связывается с эпохой среднего палеолита, ассоциируемой с неандертальским человеком. Пути миграции в этот регион традиционно прокладываются через Кавказ, заселенный ранними *Ното* ещё около 2 млн. л. н. [1] и активно осваиваемый вплоть до позднего плейстоцена. Важными факторами адаптации, обусловившими раннее заселение Кавказа, могли выступать богатое видовое разнообразие флоры и фауны, а также пещеры, служившие укрытиями при отсутствии жилых конструкций [2]. Первые эпизоды проникновения на широкие открытые пространства Русской равнины в нижнем палеолите единичны и связаны с более поздним периодом — материалы местонахождения Михайловское и стоянки Хрящи в базальном галечнике III надпойменной террасы Северского Донца соотносятся с лихвинским климатическим ритмом (MIS 11–9, 420–270 тыс. л. н.), для которого на юге Восточной Европы реконструируются степные и саванноподобные ландшафты [3]. По всей видимости, адаптационные средства древних *Ното* в эпоху нижнего палеолита не позволили им приспособиться к климатическим изменениям на открытых пространствах и закрепиться в регионе.

Значительно шире представлены свидетельства обитания на Русской равнине в эпоху среднего палеолита. Значение естественных укрытий сохраняется и в этот период, параллельно с Кавказским регионом [4] многослойные памятники в пещерах и гротах появляются в горном Крыму [5]. Стоянки открытого типа, связанные с ранней порой среднего палеолита, периодом микулинского межледниковья (кислородно-изотопная стадия 5е, 128–115 тыс. л. н.) фиксируются в Предкавказье и на юге Русской равнины. К этому периоду, по всей видимости, относятся нижние культурные горизонты (4–6) комплекса Бирючья Балка 2 в Ростовской области, в низовьях бассейна р. Северский Донец, связанные с

погребенной почвой микулинского межледниковья (Е. А. Константинов, А. К. Очередной — личное сообщение, работа готовится к печати) и подстилающими её зеленоватыми суглинками. Среди фаунистических остатков преобладают кости зубра, что отмечается и в других среднепалеолитических комплексах Восточной Европы, присутствуют кости крупных оленей, что в совокупности с данными по мелким млекопитающим свидетельствует о распространении в регионе открытых ландшафтов степного типа при существовании пойменных и байрачных лесов [6].

Наиболее крупным комплексом эпохи среднего палеолита в Нижнем Поволжье является однослойная стоянка Сухая Мечётка. Новые данные позволяют соотносить время её обитания с кислородно-изотопной стадией 5с (110–97 тыс. л. н.), временем верхневолжского (крутицкого) потепления в Восточной Европе. Условия были близки к реконструируемому для нижних слоев Бирючей Балки 2. Согласно палинологическим данным климат был прохладным, влажным и благоприятным для обитания крупных млекопитающих (определены остатки бизона, мамонта, лошади, сайги, благородного оленя, волка), которые и были главным объектом охоты палеолитического человека. По реконструкциям, в регионе так же господствовали степные ландшафты, в балке присутствовали островки леса, была широко распространена кустарниковая растительность [7]. Наряду с фаунистическими остатками, каменными орудиями и продуктами их расщепления на стоянке присутствуют остатки очагов, выделяются функциональные зоны, что свидетельствует об усложнении хозяйственной деятельности древних людей и системах их адаптации. Можно предположить, что, скорее всего, здесь присутствовали и жилые конструкции, следы которых не сохранились из-за древности и постдепозиционных факторов.

Ряд среднепалеолитических памятников относится к ранневалдайскому времени. В бассейне Нижнего Дона наиболее известны Носово I и Рожок I. Единственный культурный слой Носово I, расположенного на правом берегу Миусского лимана в Северо-Восточном Приазовье, связан с лессовидными суглинками над лиманными верхнекарангатскими отложениями и почвой микулинского межледниковья. Результаты палинологического анализа отражают значительное похолодание и распространение перигляциальных степей [8, 9]. Большой интерес для изучения динамики климатических изменений и их связи с заселением юга Русской

равнины представляет многослойная стоянка Рожок I, расположенная на мысу, образованном левым бортом Булиной балки, впадающей в Таганрогский залив. Здесь зафиксированы шесть среднепалеолитических культурных горизонтов, схожих по облику материалов, в четырехметровой толще суглинков со следами погребенных почв. Первооткрыватель и автор первых раскопок Н. Д. Праслов связывал отложения нижнего культурного горизонта с микулинским межледниковьем, вышележащие относил к началу ранневалдайского интерстадиала [8]. Результаты палинологического анализа не позволили выделить резких изменений ландшафтных условий в ходе эпизодов обитания памятника. По данным Е. А. Спиридоновой, в это время здесь господствовали степи, отмечаются постепенные аридизация и похолодание [9]. Во всех культурных горизонтах присутствуют следы кострищ и фаунистические остатки, среди которых выделяются зубр, осёл, гигантский олень и лошадь, условия обитания которых в целом соотносятся с палинологической характеристикой. Примечательны и единственные среди среднепалеолитических комплексов Русской равнины антропологические остатки — моляр *Homo neanderthalensis*, анализ которого позволил связать обитателей юга Русской равнины с Кавказскими и Сибирскими популяциями неандертальцев [10].

При концентрации стоянок на юге наличие близких по возрасту памятников в бассейне верхней Десны говорит и о достаточно далёких миграциях среднепалеолитического человека на север. Культуросодержащие горизонты Хотылёво I распространяются более, чем на 1 км, вдоль высокого правого берега Десны, в 30 км от Брянска, и связаны с аллювиальными отложениями пойменной и старичной фаций и погребенными почвами разного генезиса. Материалы верхнего (первого) и нижнего (четвёртого) культуросодержащих горизонтов значительно отличаются по облику каменного инвентаря и, вероятно, отражают развитие технологии расщепления в рамках среднего палеолита в ранневалдайскую эпоху (датировки, полученные методом оптически стимулированной люминесценции, указывают на возраст в границах 75–90 тыс. л. н.) [11]. Материалы Бетовской стоянки, в 10 км от Хотылёво I, скорее всего, представляют собой результат палимпсеста разновременных культурных слоёв под влиянием мерзлотных и склоновых процессов валдайской эпохи, но также демонстрируют выразительный среднепалеолитический компонент, представленный каменными орудиями, и богатую

фаунистическую коллекцию крупных и мелких млекопитающих, свидетельствующих о суровом климате перигляциальной тундростепи [12].

Таким образом, среднепалеолитические стоянки Русской равнины отражают первый этап полноценного заселения региона, демонстрируют адаптацию к окружающей среде с использованием большого количества ресурсов, позволяющих выживать и в суровых климатических условиях обитания крупных млекопитающих, что позволило среднепалеолитическому человеку значительно расширить территорию заселения. Фиксируется и использование естественных укрытий, но их роль уменьшается из-за развития навыка сооружения временных жилых конструкций, открывающего возможность длительного обитания в открытых ландшафтах и перемещения на дальние расстояния. Обращает на себя внимание близость многих стоянок этой эпохи к долинам рек и пляжам. Эти места, по всей видимости, считались древними людьми удобными для заселения из-за близости воды, присутствия выходов каменного сырья на размывающихся коренных отложениях и возможности охоты на крупных млекопитающих, мигрировавших вдоль долин в поисках водопоя.

Исследование выполнено в рамках программы ФНИ ГАН по теме государственной работы «Древнейшие обитатели Севера Евразии: расселение человека в каменном веке, технологии производства» (FMZF-2022-0019).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Амирханов Х. А., Тесаков А. С., Ожерельев Д. В. К датировке стоянки олдована Мухкай 2а в Дагестане // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2017. № 75. С. 5–10.
2. Величко А. А. Эволюционная география: проблемы и решения. М. : ГЕОС, 2012. 564 с.
3. Щелинский В. Е., Очередной А. К., Тесаков А. С., Симакова А. Н., Фролов П. Д., Титов В. В. Новые данные об ашельской стоянке Хрящи в низовье Северского Донца (Нижний Дон) // Краткие сообщения Института археологии. 2020. № 259. С. 49–72.
4. Любин В. П. Мустьерские культуры Кавказа. Л. : Наука, 1977. 223 с.
5. Чабай В. П. Средний палеолит Крыма: стратиграфия, хронология, типологическая вариабельность, восточно-европейский контекст. Киев : Шлях, 2004. 324 с.

6. Матюхин А. Е. Бирючья балка 2: Многослойный палеолитический памятник в бассейне Нижнего Дона. СПб. : Нестор-История, 2012. 344 с.
7. Янина Т. А., Курбанов Р. Н., Таратунина Н. А., Романис Т. В., Ельцов М. В., Лаврентьев Н. В., Глушанкова Н. И., Ремизов С. О., Иванов Я. Д., Куприянова М. Д., Очередной А. К. Палеолитическая стоянка Сухая Мечётка (Волгоград) в контексте стратиграфии и палеогеографии Нижнего Поволжья // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2023. Т. 78, № 2. С. 113–128.
8. Праслов Н. Д. Ранний палеолит Северо-Восточного Приазовья и Нижнего Дона // Материалы и исследования по археологии СССР. № 157 / под ред. П. И. Борисковского. Л. : Наука, 1968. 164 с.
9. Спиридонова Е. А. Эволюция растительного покрова бассейна Дона в верхнем плейстоцене-голоцене (верхний палеолит-бронза). М. : Наука, 1991. 221 с.
10. Ранний и средний палеолит Приазовья: современное состояние исследований / В. Е. Щелинский, А. К. Очередной, В. В. Титов [и др.] ; под ред. А. К. Очередного, В. В. Титова. Ростов-на-Дону : Изд-во ЮНЦ РАН, 2022. 304 с.
11. Очередной А. К., Воскресенская Е. В., Вишняцкий Л. Б., Степанова К. Н., Зарецкая Н. Е., Хоффекер Д. Ф. Хотылево I. Культурная география палеолита Восточно-Европейской равнины: от микока до эпиграветта // Путеводитель конференции – полевого семинара / отв. ред. К. Н. Гаврилов, А. К. Очередной, М. Н. Желтова. М., 2019. С. 34–58.
12. Воскресенская Е. В., Маркова А. К. Позднеплейстоценовые отложения и фауна мелких млекопитающих среднепалеолитической стоянки Бетово (Бассейн Десны) // Известия РАН. Серия географическая. 2019. № 1. С. 86–98.

**Влияние цемзаводов Новороссийска на эко-среду города.
Возможная рекультивация земель в местах добычи мергеля**

В. А. Игнатенко¹

¹Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, 191186, Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 48,
ignatenko.vladislava@bk.ru

Вопрос экологии в эпоху глобального потребления — это вопрос будущего нашей планеты. Горнодобывающие отрасли развиты по всему миру, но их влияние на окружающую среду известно своими негативными последствиями.

Для такого города-промышленника как Новороссийск проблемы экологии более чем актуальны. Так как территория Маркхотского хребта — это место длительной разработки мергелевых месторождений с большой долей площадей, занятых незадернованными отвалами, проблема рекультивации стоит здесь очень остро. Необходимость проведения данного мероприятия на склоне хребта Маркхотх связана с климатическими особенностями региона — частотностью смерчей и суровых северо-восточных ветров (норд-остов) (рис. 1), которые, низвергаясь с гор, достигают ураганных скоростей и способствуют интенсификации обвалов, оползней и перемещения пылевых частиц на большие расстояния [4]. Также, ливневые осадки района могут вызывать селевые потоки [1].

Компания ОАО «Новороссцемент» включает 3 предприятия в пределах МО Новороссийск: ЦЗ «Пролетарий», «Октябрь» и «Первомайский» [3]. К концу 2023 года планируется ввод в эксплуатацию четвёртого цемзавода, который принесёт дополнительную нагрузку на эко-среду города (рис. 2) [5].

Цементные заводы и карьеры расположены в непосредственной близости к объектам социальной инфраструктуры (рис. 2), создавая риски угрозы попадания в опасную зону в случае ЧС и аварий, а также регулярного получения дозы вредных веществ через дыхательные пути и воду [2].

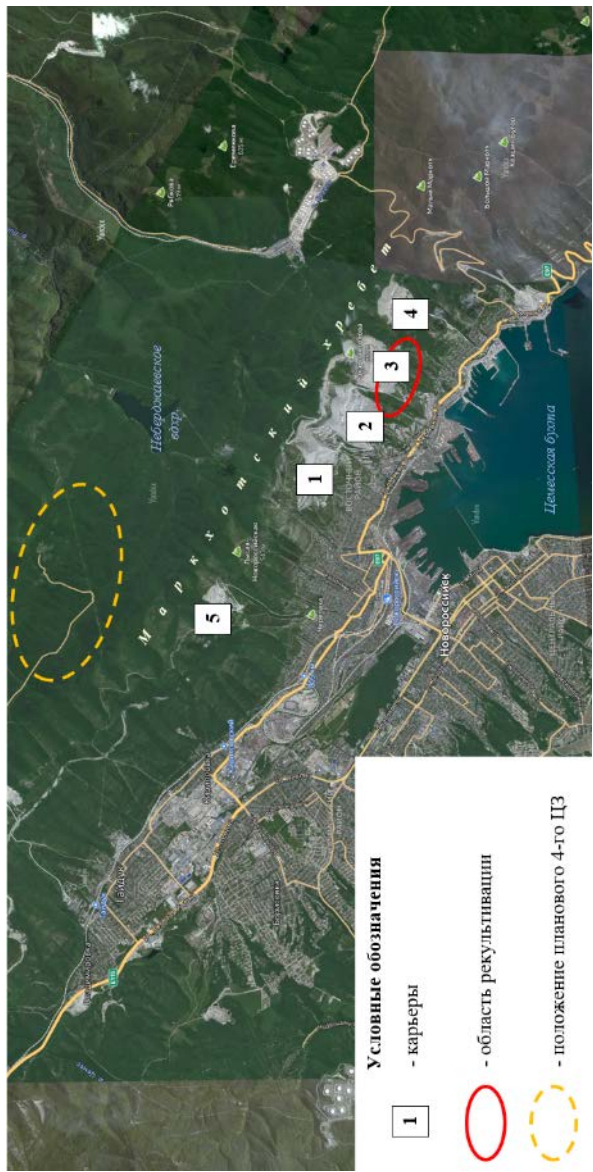


Рисунок 1: Расположение компонентов цементной промышленности Новосибирска и планируемое место рекультивации (на основе Яндекс Карт).



Условные обозначения

-  - цементные заводы;
-  - образовательные учреждения;
-  - буферная зона радиусом 500 м;
-  - буферная зона радиусом 1000 м;

Рисунок 2. Буферные зоны в районе ЦЗ «Пролетарий» (слева) и «Октябрь» (справа) (на базе Яндекс карт).

По данным исследований, промышленный район Новороссийска имеет потенциал к рекультивации земель с возможностью их вариативного использования (рис. 3).

В соответствии с проведённым комплексным анализом выделенной территории, предлагается оптимальный план рекультивации (рис. 4), имеющий положительный эффект:

1. Создание зелёной зоны — дополнительного источника кислорода — очищение воздуха и нормализация состояния эко-среды.
2. Минимизация опасных явлений: селей, обвалов и др.
3. Посадка краснокнижного можжевельника как природоохранное мероприятие с перспективой создания заповедной зоны.
4. Увеличение биоразнообразия Маркхотского хребта.
5. Придание географической привлекательности району и восстановление исторического облика.
6. Увеличение рекреационного потенциала Новороссийска и др.



Рисунок 3. Предлагаемые виды использования рекультивированных земельных ресурсов.



Рисунок 4. Схема упрощённого плана рекультивации отвалов цементной промышленности города Новороссийска.

Проведенные исследования и план рекультивации могут послужить толчком к качественному преобразованию Новороссийска. А реализовать данный проект возможно как на остальных отвалах цементной промышленности Новороссийска, так и в других подобных случаях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко А. В. Оценка и снижение экологической опасности отвалов горного производства в Новороссийской промышленной агломерации : дис. ... канд. геозкол. наук : 25.00.36. СПб., 2018. 178 с.
2. Пашкевич М. А. Техногенные массивы и их воздействие на окружающую среду. СПб. : СППТИ (ТУ), 2000. 230 с.
3. Пашкевич М. А., Алексеенко А. В. Мониторинг загрязнения почв в районе воздействия ОАО «Новоросцемент» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 10. С. 369–376.
4. Географическое положение, территория и границы Новороссийского района // Новороссийский исторический музей-заповедник. URL: <https://novomuseum.ru/posetitelyam/novorossiyskiy-rayon/geograficheskoe-polojenie-territoriya-i-granicy-novorossiyskogo-rayona.html> (дата обращения: 29.09.2023).
5. В Новороссийске к концу 2023 года построят цементный завод за 22 млрд рублей // Коммерсантъ. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4847154> (дата обращения: 02.10.2023).

Особенности пыления березы в г. Рязани

В. С. Карасева¹, Ю. М. Селезнева¹, И. И. Бирюкова¹

¹РГУ имени С. А. Есенина, Рязань, Россия, v.karaseva@365.rsu.edu.ru,
yu.selezneva@365.rsu.edu.ru, i.biryukova1210@stud.rsu.edu.ru

В последние десятилетия во всем мире отмечается существенный рост уровня аллергических заболеваний, среди которых значительную часть составляют поллинозы. Биоаэрозоли растительных источников представляют угрозу для здоровья человека и животных. Эффективная диагностика и лечение пыльцевой аллергии зависят от ежедневного мониторинга аллергенного фона окружающей среды, включающего анализ качественно-количественного состава пыльцевого дождя, оценку сезонной и почасовой ритмики пыления, составление календарей пыления, моделирование и прогнозирование аэропаллинологической обстановки. Поэтому информация о начале, интенсивности и продолжительности пыльцевого сезона важна как для врачей-аллергологов, так и для людей, страдающих поллинозами.

Вегетационный период на территории региона начинается с пыления раннецветущих сережкоцветных (*Alnus*, *Corylus*), которое сменяется цветением березы. В Рязани [6] и Рязанской области [4, 5] представители рода *Betula* принадлежат к одному из наиболее распространенных древесных растений (березняки в регионе занимают около 32% лесных площадей), продуцирующих аллергенную пыльцу в больших количествах. На территории региона встречается три вида березы: *Betula humilis* Schrank, *Betula alba* L., *Betula pendula* Roth. Одной из основных лесообразующих пород Рязанской области является береза повислая. Береза белая встречается часто лишь в отдельных районах региона (Ермишинском, Касимовском, Клепиковском, Спасском, севере Рыбновского и Рязанского). Береза приземистая занесена в Красную книгу Рязанской области [4]. Установлено, что в средней полосе России первостепенная роль в этиологии всех поллинозов, вызванных древесными растениями, принадлежит именно березе повислой [3].

В работе представлены результаты аэробиологических и фенологических наблюдений за представителями рода *Betula* в г. Рязани с 2020 по 2022 гг. Благодаря фенологическим исследованиям, впервые была изучена комплексная картина пыления березы на территории региона.

Аэробиологические наблюдения проводились с использованием волюметрического пылеуловителя Ланзони VPPS 2000, установленного на крыше РГУ им. С. А. Есенина на высоте 18,59 м от поверхности земли. Наблюдения осуществлялись по стандартной международной методике [7] и охватывали период с конца февраля — начала марта до конца сентября — начала октября в зависимости от года исследований. Подсчет пылевых зерен в образце проводили двенадцатью непрерывными транссектами, перпендикулярными продольной оси препарата. Такой способ анализа позволяет выявить не только суммарную концентрацию пыльцы в атмосфере за сутки, но и проследить почасовую картину пыления с интервалом в 2 ч. Результаты подсчетов были пересчитаны на единицу объема воздуха и представлены как число пылевых зерен в 1 м^3 (п. з. / м^3). Всего за этот период было изготовлено и проанализировано 667 препаратов, каждый из которых соответствовал одним суткам работы ловушки.

Анализ динамики пыления *Betula* проводился по следующим показателям: дата первого появления пыльцы в воздухе, дата максимальной концентрации (пик пыления), максимальное суточное содержание пыльцы в атмосфере (п. з. / м^3), суммарное содержание пыльцы за сезон (п. з. / м^3), дата последнего появления пыльцы в воздухе, даты начала и окончания основного периода пыления (ОПП), его продолжительность (в днях). ОПП рассчитывался как временной интервал, в течение которого содержание пылевых зерен в атмосфере составляет 90% от суммарного количества содержания пыльцы этого таксона [9].

Анализ эпизодов дальнего транспорта пыльцы проводился с использованием метода реконструкции обратных траекторий движения воздушных масс, реализованном в модели HYSPLIT [8]. Для построения траекторий были выбраны 2 высоты — 1000 и 500 м, модели рассчитывались на 72 часа назад. Метеорологические данные были взяты по ссылке http://rp5.in/Архив_погоды_в_Рязани.

Поскольку аэробиологические кривые не всегда отражают картину цветения растений только на территории данного региона, для их расшифровки необходимо использовать фенологические данные.

Фенологические исследования проводились в 2022 г. на 5 пробных площадках, заложенных на расстоянии 3–3,5 км (ул. Тимуровцев, ул. Советской Армии, Александровский парк), 550 м (Нижний городской сад), 500 м (площадь Свободы) от места установки пылеуловителя.

Наблюдения проводились с 26 марта по 24 мая 2022 г. каждые 2–3 дня. В качестве объекта для фенологических наблюдений была выбрана *Betula pendula*, как наиболее распространенный вид. Фенологические фазы оценивались на двадцати средневозрастных нормально развитых деревьях без видимых повреждений. С помощью бинокля проводился анализ состояния мужских серёжек в верхней, средней и нижней части кроны растений. Для оценки фенологических особенностей использовались следующие фенологические фазы: серёжка не растянута; серёжка неравномерно растянута; серёжка растянута, но пыльца ещё не летит; серёжка растянута и пыльца летит; серёжка пуста, пыление окончено.

Анализ сезонной динамики пыления березы в г. Рязани показал, что первое появление пыльцы в воздухе регистрировалось в конце февраля — середине марта в зависимости от года исследований (табл. 1).

Таблица 1. Анализ динамики пыления *Betula* в г. Рязани (2020–2022 гг.).

Год	Первое появление пыльцы (дата)	ОПП (начало – окончание)	Продолжительность ОПП (дни)	Пик пыления (дата)	С макс. (п. з. / м ³)	Σ сезон (число п. з.)	Последнее появление пыльцы (дата)
2020	22.02	22.04–13.05	22	03.05	2950	12626	29.09
2021	12.03	18.04–13.05	26	30.04	1762	11626	01.10
2022	24.02	24.04–17.05	24	26.04	8507	57148	02.10

При этом установлено, что локальное пыление березы в умеренных широтах приходится на конец апреля [1]. Поэтому такое раннее появление березовой пыльцы в составе аэропалинологического спектра мы связываем с её дальним транспортом из соседних регионов. Анализ обратных траекторий движения воздушных масс, проведенный при помощи модели HYSPLIT [8], показал, что регионами-потенциальными источниками могли являться южные регионы России и страны Восточной Европы, в которых пыление начинается гораздо раньше.

Начало основного периода пыления за все годы наблюдений отмечалось в середине — конце апреля и незначительно варьировало из-за погодных условий текущего сезона. В многочисленных работах

обсуждается прямая связь между началом локального пыления и суммой накопленных положительных температур, рассчитанных с 1 января текущего года. В нашем случае начало основного периода пыления березы наступало при накопленной положительной температуре 197 °С. Полученные показатели могут быть использованы для разработки прогнозов пыления березы в г. Рязани. Продолжительность ОПП варьировала в зависимости от года исследований и составляла 3–3,5 недели (табл. 1).

В течение 3 лет наблюдений максимальное суточное содержание пылевых зерен фиксировалось в конце апреля – начале мая: 03.05.2020 (2 950 п. з./м³), 23.04.2021 (1 762 п. з./м³), 26.04.2022 (8 507 п. з./м³). Проанализировав почасовую картину пыления, мы установили, что максимальная концентрация пылицы в эти дни отмечается в утреннее (10.00 ч в 2020 г.), вечернее (20.00 ч в 2021 г.) и ночное (02.00–04.00 ч в 2022 г.) время. При этом известно, что суточный максимум пыления березы приходится на послеполуденные часы, что хорошо согласуется с ходом суточных температур [1]. Поэтому значения концентрации пылицы в вышеуказанные даты скорее всего связаны с наложением на показатели локального пыления дальнезаносной компоненты. Анализ обратных траекторий движения воздушных масс показал, что этот занос может быть связан с пылением в южных и юго-западных регионах.

Интенсивность пыления (суммарное содержание пылицы за сезон) березы в Рязани может варьировать в очень широких пределах. Так, суммарная годовая концентрация пылицы в составе воздушного бассейна г. Рязани составила 12 626 п. з./м³ (2020 г), 11 626 п. з./м³ (2021 г) и 57 148 п. з./м³ (2022 г). Пыление березы в г. Рязани имеет ярко выраженную трехгодичную цикличность (что подтверждается и предыдущими исследованиями): как правило, годы с высокой пылевой продукцией чередуются с низкими сезонами. Как было отмечено ранее, большой вклад в суммарное годовое содержание пылевых зерен в атмосфере вносит дальнезаносная пыльца из других регионов. Это во многом и определяет разницу в суммарной годовой концентрации за все годы исследований. Помимо этого, интенсивность пыления в каждый отдельно взятый год во многом зависит от метеорологических параметров, причем не только текущих. Огромное влияние на потенциальную пылевую продукцию оказывают погодные условия (в первую очередь обеспеченность влагой) в начале лета предыдущего года. Именно в этот период

происходит заложение и развитие мужских соцветий и пыльцы, которая появится в воздухе следующей весной [1].

Несмотря на то, что окончание основного периода пыления для *Betula* отмечается во второй декаде мая, единичные пыльцевые зерна фиксировались в спектре вплоть до конца сентября. Это связано с тем, что пыльца анемофильных растений обладает хорошими аэродинамическими свойствами и, осаждаясь во время интенсивного пыления на листьях, траве, крышах домов и поверхности почвы, может вновь подниматься в воздух.

Для установления локального пыления березы на территории г. Рязани и подтверждения эпизодов дальнего транспорта пыльцы, в 2022 г. помимо аэробиологических наблюдений, проводились и фенологические. При сопоставлении аэробиологических и фенологических данных было выявлено, что эти показатели достаточно хорошо согласуются друг с другом ($r = 0,6$) (рис. 1). Увеличение концентрации пыльцы березы в конце апреля совпадает с локальным пылением, которое было определено по фенологическим наблюдениям.

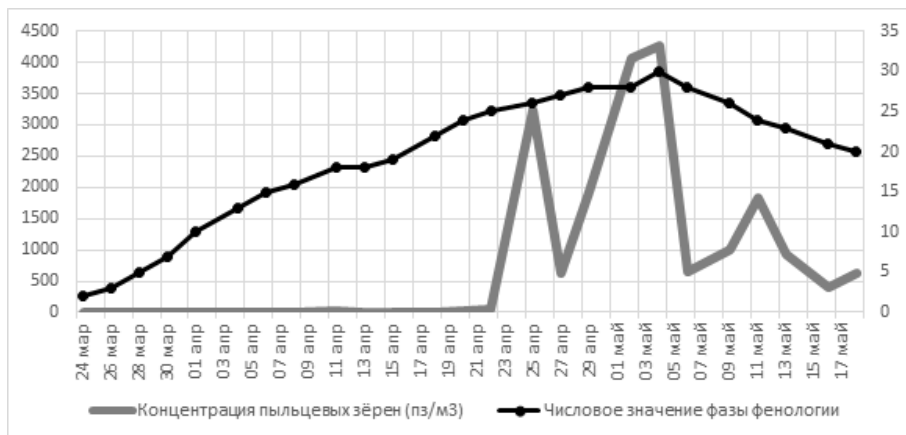


Рисунок 1. Динамика пыления амброзии и изменение фенологических показателей. Значения концентрации пыльцы приведены для дней, в которые проводились фенологические наблюдения.

Однако при сопоставлении фенологических и аэробиологических кривых, выявляются два несоответствия. Первое приходится на конец апреля, когда концентрация пыльцы резко падает, а фенологический

показатель, напротив, продолжает оставаться высоким. Данный факт объясняется тем, что с 24.04.2022 по 27.04.2022 на территории г. Рязани отмечались ливневые дожди [2], которые вымывали пыльцу из атмосферы, что и привело к резкому снижению её концентрации.

Противоположная картина отмечается в середине мая, когда концентрация пыльцы вновь растет, а фенологический индекс при этом — снижается. Незначительное увеличение концентрации пыльцы в составе воздушного бассейна при наличии снижения фенологического показателя мы связываем с вторичным подъемом пыльцы с поверхности земли.

Таким образом, в связи с широким распространением березы на территории Рязанской области, вклад пыльцы данного таксона в состав аэропалинологического спектра огромен. Сроки пыления *Betula* ежегодно варьируют под влиянием метеорологических факторов. Концентрация пыльцевых зерен березы в атмосферном воздухе зависит не только от локальных показателей, но и обусловлено вкладом дальнезапасной пыльцы в разные периоды вегетационного сезона.

Для анализа текущей аэропалинологической обстановки в г. Рязани, прошлых эпизодов и краткосрочного прогнозирования необходим системный и непрерывный аэробиологический и фенологический мониторинг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аллерготоп [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://allergotop.com/> (дата обращения 31.10.2023).
2. Архив погоды в Рязани [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Рязани (дата обращения: 31.10.2022).
3. Боков Д. О., Смирнов В. В. Оценка качества экстракта пыльцы березы // Фармация. 2014. № 1. С. 20–23.
4. Казакова М. В. Флора Рязанской области. Рязань, 2004. 388 с.
5. Казакова М. В., Щербаков А. В. Флористическая изученность муниципальных районов Рязанской области // Труды Рязанского отделения Русского ботанического общества. Вып. 4. Флористические исследования / под ред. М. В. Казаковой. Рязань : Ряз. гос. ун-т имени С. А. Есенина, 2017. 336 с.
6. Пастушенко А. Д. Дендрофлора города Рязани : дис. М., 2021.

7. Gala'n C., Smith M., Thibaudon M., Frenguelli G., Oteros J., Gehrig R., Berger U., Clot B., Brandao R. EAS QC Working Group Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis // *Aerobiologia*. 2014. Vol. 30. P. 385–395.
8. HYSPLIT. Режим доступа: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>
9. Nilsson S., Persson S. Tree pollen spectra in the Stockholm region (Sweden), 1973–1980 // *Grana*. 1981. Vol. 20. P. 179–182.

Разработка классификации городских путей сообщения для картографирования велотранспорта

Д. А. Корнилов¹, Е. А. Прохорова¹

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1,
korniloff.dania@mail.ru, eaprohorova@mail.ru

Массовая автомобилизация городов привела к нехватке пространств для пешеходов, велосипедистов, пользователей общественного транспорта. Большое количество автомобилей увеличивает химическое, физическое воздействие на среду и экономические издержки транспорта. Оптимизация издержек приводит к росту числа пользователей альтернативных видов транспорта, в том числе велосипедного. Под велотранспортом в данной работе подразумеваются велосипеды и электросмокаты, а также инфраструктура для них.

Широкое распространение велосипедов поможет ослабить нагрузку на городскую среду, но привлечение новых пользователей велотранспорта требует создания безопасной и комплексной инфраструктуры. Её планирование невозможно без картографирования велотранспорта, оценки его состояния, адаптации среды под нужды этого средства передвижения.

Современные картографические произведения, в большинстве случаев, показывают лишь положение линейной велоинфраструктуры (велополос или велодорожек); чаще всего это простые аналитические карты, несмотря на сложные графические приёмы и способы построения. Небольшое количество существующих в настоящее время комплексных карт с более насыщенным содержанием представляют инфраструктуру (с её типологией) и информацию о вспомогательных объектах для пользователей велотранспорта [1], [2]. Основные элементы велосипедной инфраструктуры все чаще визуализируют на интерактивных картах, при этом активно используются веб-порталы для создания навигационных сервисов, карты «тепловых» следов велосипедистов [3], [4]. Отметим, что точечная велоинфраструктура (велопарковки, станции проката) практически не находят отражения на картах.



Рисунок 1. Фрагмент и легенда карты Цинциннати для велосипедистов [2].

В условиях низкой обеспеченности городов велосипедной инфраструктурой нами было решено начать прежде всего с отображения условий пользования велотранспортом, пригодности улиц для передвижения на нём. Созданные при этом карты показывают текущее состояние инфраструктуры, плотность и доступность её элементов, аварийность с участием велосипедов и средств индивидуальной мобильности (СИМ) (рисунок 2). Результирующей картой в серии становится карта муниципального района, на которой собраны основные объекты велотранспорта, места притяжения его пользователей (университеты и общежития, магазины и дарксторы — скрытые склады-магазины доставки товаров; бизнес-центры). На карте отображена также разработанная нами классификация улиц по пригодности для велотранспорта.

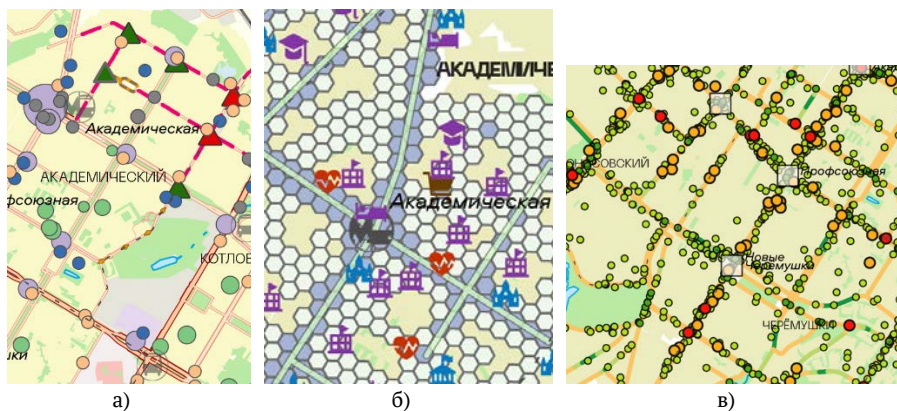


Рисунок 2. Фрагменты карт из созданной серии: а) существующей инфраструктуры, б) востребованности инфраструктуры, в) мест аварий.

Классификация городских путей сообщения необходима для чёткого выделения кластеров удобных кварталов и районов для велосипедистов и пользователей самокатов. Имея подобную дифференциацию,

менее приспособленные участки должны реконструироваться для повышения доступности территории велотранспортом. Существующие классификации улиц не отражают безопасность и комфортность для велосипедистов и пользователей самокатов. Подобные показатели должны включать удобство передвижения, постоянство скорости, малое количество стрессовых ситуаций. Классификации, содержащие такие показатели, требуют значительного количества масштабных полевых обследований или данных, предназначенных для служебного пользования [5]. Нами были рассмотрены классификации, основанные на положении улицы в транспортном каркасе и наличии линейной велоинфраструктуры [6], но в таком делении не учитываются физические показатели участков сети. Предлагаемая классификация основана на общемировых требованиях пользователей велотранспорта к среде перемещения [7].

При классификации дорог учитывалось два фактора: безопасность и комфортность передвижения. Из-за отсутствия методических рекомендаций, строительных норм и правил, в нашем исследовании предложены граничные значения признаков для перевода исходных характеристик улиц в комплексную качественную оценку сети. Промежуточным шагом в классификации является балльная оценка отдельных признаков частей среды.

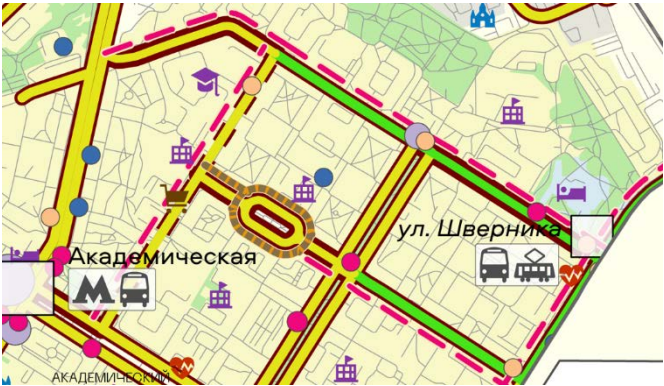
Степень безопасности улицы выражается в количестве аварий, но использование этого показателя в классификации затруднительно из-за недостатка и неточности атрибутивной составляющей открытых данных. Относительно малое количество пользователей велотранспортом не позволяет назвать существующую генеральную выборку репрезентативной и экстраполировать значения на фрагменты сети, где не было зафиксировано дорожно-транспортных происшествий с участием велотранспорта. Оценка безопасности проводилась по критериям скоростного режима, частоты размещения съездов во двор и стоянок на улицах и ширины пешеходных дорожек. Высокая разрешённая скорость приводит, как правило, к большей тяжести травм, уменьшая оценку безопасности. Деление проводилось по установленным на улицах типовым ограничением скорости (например, 20 км/ч). Плотное распределение выездов из прилегающих территорий и автомобильные парковки вдоль проезжей части или велополос приводят к увеличению манёвров и конфликтных ситуаций при начале движения автомобилей. Недостаточная

ширина тротуаров уплотняет движение между велотранспортом и пешеходами, на которых совершаются наезды.

Комфортность передвижения нами предлагается оценивать по физическим характеристикам участков сети, которые зависят в том числе и от уклона, и от материала дорожного покрытия. Для этих показателей критерии качества определены различными методическими рекомендациями и нормативами по созданию велоинфраструктуры. Кроме того, наличие точечных (велопарковок) и линейных (велополос, велодорожек и других) элементов велотранспорта учитывалось при оценке комфортности. Большинство элементов линейной инфраструктуры не обособленно от других участников дорожного движения, поэтому было решено учитывать её наличие именно при оценке комфортности среды. Классификация линейной велоинфраструктуры учитывает обеспечение безопасности и комфортного скоростного режима пользователями велотранспорта, по которой и распределялась балльная оценка влияния данного признака. Плотность велопарковок на улице определяет привлекательность объектов сферы услуг, размещённых на первых этажах зданий. Комфортное время ходьбы от этих предприятий до оставленного средства передвижения — порядка 100–200 метров, что было учтено в распределении критериев влияния плотности на комфортность улицы.

Итоговый класс улицы показан с помощью матричной легенды, в которой на разных осях размещены оценки безопасности и комфортности (рисунок 3). В качестве единиц картографирования были выбраны участки улиц, формирующих кварталы застройки.

Карты классификации улиц составлялись на отдельные муниципальные образования (районы) в отличие от остальной серии, в которой карты строились на административный округ (совокупность районов) (рисунок 3). Районный охват картографирования позволяет сконцентрироваться на тех факторах, которые способствуют или препятствуют решению задачи «последней мили» — преодолению пути от станции скоростного транспорта или транспортно-пересадочного узла (ТПУ) до дома или работы. Это размещение наземных велосипедных переездов и пешеходных переходов, наличие велопарковок и станций проката, линейной инфраструктуры и другое.



Пригодность улиц
для велотранспорта

безопасность оценка комфортности	Небезопасные < 3,3 б	Относительно безопасные 3,3–6,7 б	Безопасные > 6,7 б
Некомфортные < 3,3 б			
Относительно комфортные 3,3–6,7 б			
Комфортные > 6,7 б			

Рисунок 3: Классификация улиц по комфортности и безопасности для велотранспорта: фрагмент карты и легенды.

Особенностью карты классификации городских путей сообщения является её составление на основе анализа карт всего округа. На карте района, помимо классификации, появляется возможность сместить фокус с велоинфраструктуры на уличную сеть, показанную с наибольшей геометрической точностью, включая показ нескольких проезжих частей, их изгибов, мест пересечения друг с другом. Удаётся также отображать внутридворовые проезды, при этом специалисты могут оценивать проицаемость дворов — возможность сквозного прохождения кварталов района. Отметим, что для карты района использовалась та же база пространственных данных, что и для карт округа, но с меньшими показателями цензов и норм отбора, другими параметрами генерализации.

Разработанная классификация улиц показывает районы с наибольшей или наименьшей пригодностью для передвижения велотранспорта.

В распределении участков учитываются факторы безопасности и комфортности, которые важны не только для пользователей велосипедами и СИМ, но и для других участников дорожного движения. Созданные на основе классификации карты показывают обеспеченность транспортных узлов соответствующей инфраструктурой для преодоления маршрутов «ТПУ — дом», «ТПУ — работа» и других, иллюстрируют влияние мест интереса велосипедистов на развитие инфраструктуры вокруг них.

Для создания карты районов применена обратная генерализация, при которой более крупномасштабное произведение выполнено на основе карт более мелкого масштаба, что позволяет рассмотреть дорожную сеть и объекты велоинфраструктуры на районном и квартальном уровнях. Происходит переход от общего анализа состояния уличной сети к частным проблемам отдельных фрагментов округа. Разработанная классификация улиц применима для создания рекомендаций развития сети велоинфраструктуры и комфортной городской среды в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mustapha N. I. [et al.]. Cycling Route Mapping via Cartography and GIS Techniques // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2023. Vol. 1240, № 1. P. 012008.
2. Wessel N., Widener M. Rethinking the urban bike map for the 21st century // Cartographic Perspectives. 2015. № 81. P. 6–22.
3. Routing // Geovelo [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geovelo.fr/france/> (дата обращения 15.12.2021).
4. Strava Global Heatmap [Карта] // Strava [Электронный ресурс]. URL: <https://www.strava.com/heatmap#17.19/37.57748/55.70040/hot/ride> (дата обращения 15.12.2021, с марта 2022 недоступен в РФ).
5. Велосипедный транспорт в городах: монография / Ю. В. Трофименко [и др.] ; под науч. ред. Ю. В. Трофименко. М. : МАДИ, 2020. 154 с
6. Корнилов Д. А., Прохорова Е. А. Возможности представления на картах велоинфраструктуры города (на примере ЮЗАО г. Москвы) // Научные исследования молодых ученых-картографов, выполненные под руководством сотрудников кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова / ред. П. Г. Илюшина (Михайлюкова), А. М. Карпачевский, Е. А. Прохорова, А. Л. Энтин. Москва : КДУ, Добросвет, 2022. С. 22–31.

7. Wang J. Y. T. [et al.]. Understanding factors influencing choices of cyclists and potential cyclists: A case study at the University of Auckland // Road & Transport Research: A Journal of Australian and New Zealand Research and Practice. 2014. Vol. 23, № 3. P. 37–51.

Реконструкция динамики берегов озера Севан в условиях активного антропогенного освоения

П. А. Кузнеченко^{1, *}, Н. А. Алексеенко^{1, **}, А. А. Медведев²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д. 1,
[*p.kuz-98@mail.ru](mailto:p.kuz-98@mail.ru), [**valtuz@mail.ru](mailto:valtuz@mail.ru)

²Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
a.a.medvedeff@gmail.com

Озеро Севан в Армении — крупнейший пресноводный водоём Армении, в нём сосредоточено более 80% запасов пресной воды в стране. Кроме того, Севан является важнейшим памятником природного наследия Армении и местом обитания десятков видов редких животных и растений [1]. В середине XX века озеро было подвержено неграмотной эксплуатации, которая повлекла за собой экологическую катастрофу — изменения как в водных, так и в береговых экосистемах [2].

Одним из самых заметных последствий активного освоения вод Севана стала непредсказуемая перестройка комплекса береговых процессов — в первую очередь, развитие абразии и процессов заболачивания (рис. 1).



Рисунок 1. Процесс абразии разрушает трассу М-4 (слева), заболачивание берега в районе озера Гилли на восточном побережье Севана (справа). Фото автора.

Поскольку в настоящее время проводится постепенное искусственное восстановление уровня воды [3], важнейшей задачей является

реконструкция состояния берегов в разные временные периоды для оценки темпов их динамики.

Таким образом, целями данного исследования стали восстановление береговой линии и определение типов берегов для разных этапов антропогенного освоения. Для достижения поставленных целей были поставлены следующие последовательные задачи:

1. Изучение теоретических источников по динамике состояния озера Севан и архивных картографических материалов для восстановления состояния берегов до начала эксплуатации.
2. Разработка на основе архивных данных классификации берегов по нескольким морфометрическим и визуальным параметрам.
3. Сбор полевых материалов во время нескольких экспедиций на озеро Севан в период 2018–2020 гг. — рекогносцировка, выделение ключевых участков исследования, проведение аэрофото-съемки местности.
4. Разработка генетической классификации современных берегов, составление мультивременной обзорной карты берегов озера Севан на весь период эксплуатации и крупномасштабных карт годовой динамики береговой линии для ключевых участков — эталонов разных типов современного берега.
5. Статистический анализ полученных карт на основе математических методов, получение сводных таблиц и графиков изменения типов и положения берега, оценка результатов.
6. Построить карту изменений типов берегов и положения береговой линии (представлена на рис. 2).

Также в ходе исследования были получены крупномасштабные карты на ключевые участки и ряд таблиц со статистическими данными по изменению положения береговой линии и переходов из одного генетического типа берега в другой. Все задачи работы можно считать успешно выполненными.

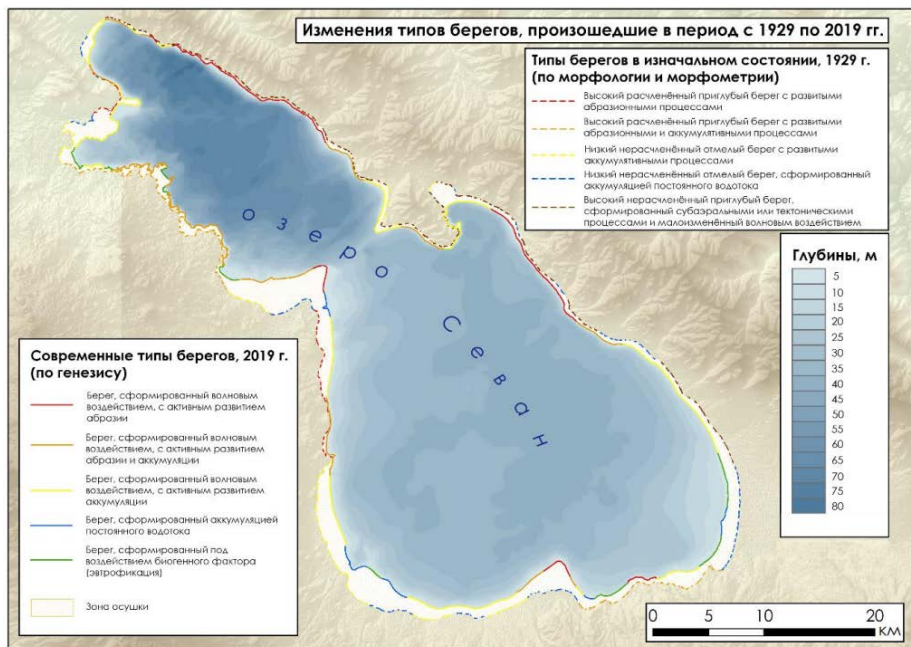


Рисунок 2. Карта изменений типов берегов в период с 1929 по 2019 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием в Армении. Министерство охраны природы Армении, 2002. 193 с.
2. Матишов Г. Г. Современное состояние и проблемы изучения озера Севан // Наука Юга России (Вестник Южного Научного центра). 2016. № 2. С. 43–52.
3. Medvedev A., Alekseenko N., Telnova N. Uav-derived data application for environmental monitoring of the coastal area of lake Sevan, Armenia with a changing water level // Remote Sensing. 2020. Vol. 12, no. 22.

Мезоморфологическая диагностика почв палеолитических стоянок Костёнки-14 II, IVw (MIS 3)

М. Д. Куприянова¹, А. В. Русаков², А. А. Синицын¹

¹Институт истории материальной культуры РАН,

191186, Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 18,

kupriuanova.masha@gmail.com, andrei.sinitsyn@gmail.com

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,

199178, Санкт-Петербург, В. О., 16-я линия, д. 29, a.rusakov@spbu.ru

Памятник Костёнки-14 выделяется среди других наличием относительно полной и хорошо изученной стратиграфической колонки, в которой представлена последовательность отложений, охватывающая период приблизительно от 40 до 20 тыс. л. н. На современном этапе исследования выделяется восемь культурных слоев, три из которых в основном, с фаунистическим материалом [1].

Исследование включало в себя изучение почв культурного слоя II и IVw: полевое описание части разреза, взятие образцов и монолитов, мезоморфологическое изучение при увеличении $\times 1-4$.

Стоянка Костенок-14 II слой, залегает в почве верхней гумусовой толщи, относится к городцовой археологической культуре, которая была выделена П. П. Ефименко [2] на основе общих показателей и по выраженному «среднепалеолитическому» компоненту каменной индустрии, наличию специфических предметов — лопаточек с навершием. В ходе работ была исследована магнитная восприимчивость слоя, что особенно интересно в связи с наличием пятен прокала и окрашенности слоя охрой. Наибольшие показатели в плане, были как раз у таких пятен (наибольших значений от 0.88×10^{-3} до 1.67×10^{-3}), в разрезе, у гумусированных прослоек (от 1.25×10^{-3} до 2.16×10^{-3}).

Стоянка слоя IVw, залегает в нижней гумусовой толще, под пеплом (на данном участке прослойка пепла есть лишь в одной из стенок), относится к слоям древнейшей хронологической группы, которые связаны с формированием верхнего палеолита Восточной Европы и распространением человека современного физического типа (*Homo sapiens sapiens*).

В ходе работ был описан участок разреза без прослойки пепла — две гумусовые толщи разделены только прослоем суглинка.

Первая почва (вмещающая культурные остатки II КС) имела горизонты: Аса бур., который был хорошо выражен непрерывной полосой

мощностью 19 см., слоистый с редкими включениями обломков известняка до 5 мм, до 1%; Вса — тяжелосуглинистый, с непрочноплитчатой структурой, пористый. Присутствовали локальные пятна ожелезнения. ортштэйны. Обилие карбонатной крошки — 1%.

Вторая почва (вмещающая культурные остатки IVw KC), имела горизонты: А тем. — тяжелосуглинистый, с непрочной, комковатой структурой и включением угольков. По левой стенке горизонт был прорезан горизонтальными трещинами, выполненными белесым материалом. Имело место ожелезнение по корням — ортштэйны. Диагенез так же выражен наличием карбонатной крошки, псевдомицелием. Горизонт Bg — тяжелосуглинистый с непрочноплитчатой структурой, на мезо-уровне комковато-овоидной, пористый, с 1–2% включения карбонатной крошки, но более крупной 3–5мм, окаربоначивание по порам; включениями кварца, древесного угля, монган. Явно выражены диффузные железистые пятна, приуроченные к порам.

Под второй почвой четко выраженная слоистая толща, тяжелосуглинистого материала, с плитчатой структурой, которую можно определить как смещенную часть почвы 2 или отдельный этап почвообразования. Однако при рассмотрении материалов на мезо- уровне скорее можно говорить о синлитогенном почвообразовании. Отчетливо читается латеральный перенос прогумусированного материала, хорошо проработанного почвенной мезофауной — большое количество субвертикальных ходов червей с копролитами, поры выполнены мелкокристаллическим кальцитом. Подстилающие породы — мергелистая, окаربоначенная толща.

Подробное описание и дифференциация палеопедогенных уровней нижней гумусовой толщи для разрезов в районе палеолитических памятников Костенковско-Борщевского района, является очень важным элементом корректной атрибуции в том числе и археологических материалов (особенно при работе с поиском и вскрытием новых участков памятников), а также реконструкции среды и жизнедеятельности первого человека современного физического типа на территории Восточной Европы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синицын А. А. Костенки 14 (Маркина гора) — опорная колонка культурных и геологических отложений палеолита Восточной Европы для периода 27–42 тыс. лет (GS-11–GI-3) // Древние культуры Восточной Европы: эталонные памятники и опорные комплексы в контексте современных археологических исследований / отв. ред. Г. А. Хлопачев. СПб. : МАЭ РАН, 2015. С. 40–59. (Замятинский сборник. Вып. 4).
2. Ефименко П. П. Костенки I. Л., 1958.

Оптические характеристики растворенного органического углерода в поровых водах отложений термокарстовых озер Западной Сибири

Д. Г. Курашев¹, Р. М. Манасыпов¹

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36, danil_kurashev@mail.ru

Многолетняя мерзлота занимает значительную часть Западно-Сибирской низменности и имеет площадь 1,05 млн км², а общая площадь термокарстовых озер составляет 61900 км² [1]. При этом средняя площадь термокарстовых озер составляет около 6% территории, подверженной распространению многолетней мерзлоты, а в некоторых речных бассейнах площадь термокарстовых озер может достигать до 70% площади водосбора [2,3]. Термокарстовые озера представляют собой очень динамичные и экологически важные водные системы с низкими концентрациями неорганических растворенных веществ и низкими показателями pH, а также темной окраской и высокими концентрациями растворенного органического углерода (РОУ) [4]. Основным составляющим пула углерода в озерных экосистемах является растворенное органическое вещество (РОВ), которое состоит из крупных водорастворимых органических молекул сложной структуры, включающих ароматические и алифатические фрагменты [5, 6].

Для изучения РОУ были выбраны наиболее распространённые и общепринятые методы исследования, позволяющие качественно определить природу, происхождение и состав органического вещества. $SUVA_{254}$ — отношение поглощения при длине волны 254 нм к содержанию РОУ в пробе [2]. Считается, что значение $SUVA_{254} > 4$ указывает на преобладание гидрофобного и особенно ароматического материала, в то время как $SUVA_{254} < 3$ соответствует наличию в основном гидрофильного материала [7]. Коэффициент E2 : E3 (поглощение при 250 нм и 365 нм) используется для характеристики соотношения относительного размера молекул РОУ и отношения содержания неокисленных ароматических структур к окисленным. Пробы с относительно низкими коэффициентами имеют более высокую молекулярную массу РОУ [8]. Для оценки преобладания автохтонного или аллохтонного РОУ рассчитывается отношение E2 : E4 (при 254 нм и 436 нм) [9, 10, 11]. E4 : E6 (при 400 нм и 600 нм) часто называют мерой гумификации, характеризует цветность

ОУ и коррелирует со степенью гумификации РОУ [9, 11]. Е4 : Е6 также рассматривают как отношение содержания ароматических фрагментов к алифатическим [12]. Средневесовой индекс молекулярной массы (WAMW) используется для аппроксимации ароматичности углерода, молекулярной массы и источника РОУ [7].

Отбор проб озерных отложений проводился на широтном разрезе Западной Сибири, в различных зонах распространения многолетней мерзлоты, включающей в себя южный участок в районе г. Когалым (зона изолированного распространения мерзлоты); окрестности пос. Ханымей (зона спорадического распространения мерзлоты); окрестности пос. Уренгоя (зона прерывистого распространения мерзлоты); и самый северный ключевой участок — в районе пос. Тазовский (тундровый биом сплошной мерзлоты). Для отбора проб ненарушенного керна донных отложений был использован ручной пробоотборник (Aquatic Research Instruments®).

Поровые воды донных отложений были получены при центрифугировании донных отложений при 4000 об/мин, затем отфильтрованы через одноразовые фильтры Minisart NML (размер пор 0,45 мкм, диаметр 33 мм). Содержание РОУ в поровых водах проводили в лаборатории с использованием анализатора Shimadzu TOC-VCNS Analyzer. Поглощение в УФ-видимой области измеряли в кварцевой кювете размером 10 мм в диапазоне длин волн 200–800 нм (с интервалом длины волны 1 нм) при комнатной температуре на спектрофотометре Varicen, Cary 50 Scan. UV-Visible.

При обработке результатов измерений был использован метод ранговой корреляции Спирмена, который позволяет определить тесноту (силу) и направление корреляционной связи между двумя непараметрическими признаками. Статистическая обработка данных и построение диаграмм проводились с использованием пакета программ STATISTICA 6.0 и MS Excel 2016.

Для лучшего понимания данных показателей по количественному и качественному содержанию углерода для разных зон мерзлоты, было решено объединить озера каждой зоны (рис. 1).

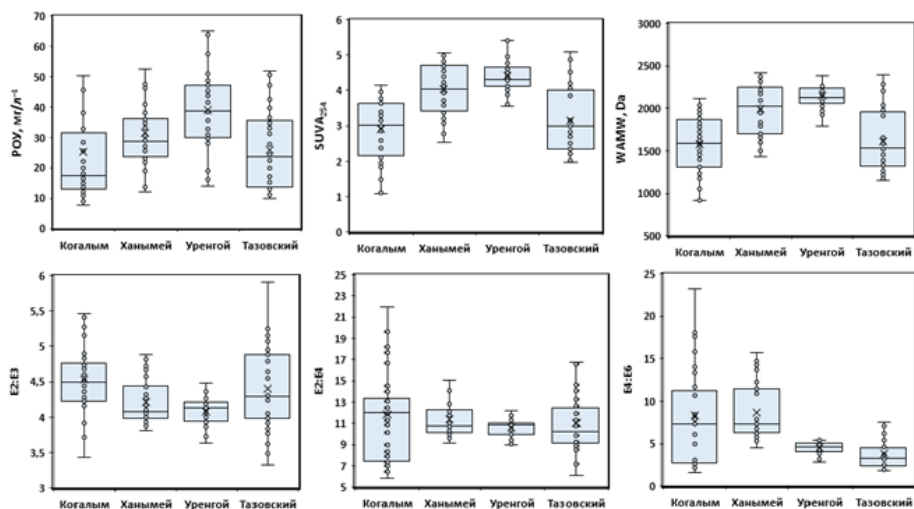


Рисунок 1. Зависимость оптических параметров и концентрации РОУ в пробах поровых вод термокарстовых озер в различных зонах вечной мерзлоты.

Наблюдалась схожая динамика у концентрации РОУ и показателя $SUVA_{254}$. Высокие средние значения размаха РОУ выявлены для зоны прерывистого распространения мерзлоты (38,6). Также высокие показатели представлены в зоне спорадической мерзлоты (28,8), низкие значения наблюдались в зоне сплошной мерзлоты (23,7), минимальные в зоне изолированного распространения мерзлоты (17,5) (рис. 1А). Показатель $SUVA_{254}$ имел средние значения 4.305, 4.031, 3.002 и 3.001 в зонах прерывистой, спорадической, сплошной и изолированной мерзлоты соответственно (рис. 1Б). Наиболее высокие значения WAMW соотносятся с предыдущих показателями и составляют 2125 Да и 2028 Да в прерывистой и спорадической зонах мерзлоты, а минимальные 1588 Да и 1528 Да в изолированной и сплошной зонах мерзлоты соответственно (рис. 1В).

Зоны спорадического и прерывистого распространения мерзлоты отличаются от сплошной тундровой зоны ярким торфяным контекстом; для данных районов характерны схожие высокие значения показателя $SUVA_{254}$ и РОУ, что указывает на полное преобладание гидрофобного материала ароматической природы, полученного из торфяной мерзлой толщи. В поровой воде донных отложений озер в районе г. Когалым показатели явно указывали на преобладание в поровых водах гидрофильного органического вещества и незначительного вклада аллохтонного

ароматического материала. Полученные результаты показателя $SUVA_{254}$ и РОУ подтверждаются данными средневесового индекса молекулярной массы.

Отличие уровня коэффициента $E2 : E3$ в зоне сплошной мерзлоты относительно других зон говорит о включении в состав РОВ аллохтонных веществ, представляющих собой смесь органических веществ гумусовой природы терригенного происхождения, источником которых являются продукты неполного разложения растительных остатков. Полученные данные рассчитанных коэффициентов $E2 : E3$ и $E2 : E4$ в целом оказались близкими по динамике.

Рассматривая рассчитанный коэффициент $E4 : E6$ в качестве показателя гумификации или ароматичности, мы можем предположить, что наблюдаемая регрессия с продвижением с южной зоны до северной может быть объяснена постепенным уменьшением содержания гуминовых кислот в поровой воде донных отложений и деградацией органического вещества в северных районах.

Исследования проведены при финансовой поддержке РНФ, проект № 21-77-10067.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Polishchuk Y., Bogdanov A., Muratov I., Polishchuk V., Lim A., Manasy-pov R., Shirokova L., Pokrovsky O. Minor contribution of small thaw ponds to the pools of carbon and methane in the inland waters of the permafrost-affected part of the Western Siberian Lowland // Environmental Research Letters. 2018. Vol. 13, № 4. P. 045002. DOI 10.1088/1748-9326/aab046
2. Kirpotin S., Polishchuk Y., Bryksina N. West Siberian palsas peatlands: distribution, typology, cyclic development, present day climate-driven changes, seasonal hydrology and impact on CO₂ cycle // International journal of environmental studies. 2011. Vol. 68, № 5. P. 603–623. DOI 10.1080/00207233.2011.593901
3. Zakharova E., Kouraev A., Frédérique R., Zemtsov V., Kirpotin S. Seasonal variability of the Western Siberia wetlands from satellite radar altimetry // Journal of Hydrology. 2014. Vol. 512. P. 366–378. DOI 10.1016/j.jhydrol.2014.03.

4. Manasypov R., Pokrovsky O., Kirpotin S., Shirokova L. Thermokarst lake waters across the permafrost zones of western Siberia // The Cryosphere. 2014. Vol. 8, № 4. P. 1177–1193. DOI 10.5194/tc-8-1177-2014
5. Nebbioso A., Piccolo A. Molecular characterization of dissolved organic matter (DOM): a critical review // Analytical and bioanalytical chemistry. 2013. Vol. 405. P. 109–124.
6. Minor E. C., Swenson M. M., Mattson B. M., Oyler A. R. Structural characterization of dissolved organic matter: a review of current techniques for isolation and analysis // Environmental science: processes & impacts. 2014. Vol. 16, № 9. P. 2064–2079.
7. Chin Y.-P., Aiken G., O'Loughlin E. Molecular weight, polydispersity, and spectroscopic properties of aquatic humic substances // Environ. Sci. Technol. 1994. 28. P. 1853–1858.
8. Hiriart-Baer V., Diep N., Smith R. Dissolved organic matter in the Great Lakes: role and nature of allochthonous material // Journal of Great Lakes Research. 2008. Vol. 34, № 3. P. 383–394. DOI 10.3394/0380-1330(2008)34
9. Battin T. Dissolved organic matter and its optical properties in a black-water tributary of the upper Orinoco river, Venezuela // Organic Geochemistry. 1998. Vol. 28, № 9–10. P. 561–569.
10. Hur K., Kwak M., Lee H., Park do J., Lee H., Lee H. S., Kim W., Michaeli D., Yang H. Expression of gastrin and its receptor in human gastric cancer tissues // Journal of cancer research and clinical oncology. 2006. Vol. 132. P. 85–91.
11. Jaffe G. Regulating transgenic crops: a comparative analysis of different regulatory processes // Transgenic Research. 2004. Vol. 13. P. 5–19.
12. Chen Y., Senesi N., Schnitzer M. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios // Soil science society of America journal. 1977. Vol. 41, № 2. P. 352–358.

Применение БПЛА при создании ортофотопланов территории мониторинга современных геоморфологических процессов в Арктической зоне (на примере с. Хатанга, Красноярский край)

Я. О. Лебедев^{1,2}, А. Е. Гнеденко^{3,*}

¹ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, Российская Федерация

²Российский университет дружбы народов,
г. Москва, Российская Федерация

³Институт географии РАН, г. Москва, Российская Федерация,

^{*}gnedenko.a.e@igras.ru

Исследования и хозяйственная деятельность в арктической зоне связаны с разнообразными рисками и ограничениями (отдаленность и проходимость территории, длительный зимний период и др.), не способствующими мониторинговым мероприятиям. Геоинформационное цифровое картографирование с применением БПЛА в арктической зоне позволяет частично компенсировать эти риски и ограничения.

При ландшафтно-геоморфологических обследованиях, описании и предварительной оценки объема загрязнения береговой линии р. Хатанга и селитебной территории с. Хатанга использовались методы натурного обследования и анализа аэроснимков БПЛА [1, 2]. Дальнейшие исследования связаны с методом мониторинга изменений высоты точек поверхности с течением времени для фиксации изменений ландшафтных фаций и урочищ с течением времени при наличии воздействующих факторов.

Для съемки загрязненных участков прибрежных склонов и береговой линии р. Хатанга протяженностью свыше 1250 м использовался дрон модели DJI Mini 2. При проведении съемки перекрытие кадров составляло порядка 70%, высота съемки была установлена на 30 метрах. Низкая высота и большая площадь перекрытия кадров были необходимы для обеспечения максимально высокого пространственного разрешения итогового ортофотоплана. Всего было получено более 2000 снимков.

Пространственное разрешение итогового ортофотоплана составило 1,5 см на пиксель, цифровая модель рельефа получена в разрешении 7 см на пиксель, что не только даёт высокоточную информацию о состоянии береговой зоны, но также является качественной основой для организации мониторинга.

Полученные изображения трехмерного пространства береговой зоны и селитебной территории с. Хатанга позволяют с высокой точностью перейти к исследованиям поверхности территории в четырехмерном пространстве — посредством мониторинга через серии разновременных снимков, отражающих изменения мелких форм морфоскульптуры рельефа для изучения происходящих в ландшафтах процессов и явлений (после их выявления и уточнения во время натурных обследований).

В результате проведенных исследований были уточнены актуальные пространственное распространение и площадь овражно-балочной сети, термокарстовых воронок, а также приблизительный объем загрязнения береговой линии металлическим ломом в с. Хатанга Красноярского края.

Работа подготовлена в рамках госзадания ИГ РАН FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8) «Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования».

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы Института биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН — «Изучение пространственно-временной организации водных и наземных экосистем с целью разработки системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий», № гос. регистрации 121040100327-3.

Работа поддержана Программой стратегического академического лидерства РУДН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кулик К. Н., Рулев А. С., Юферов В. Г. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации. Волгоград : ВНИАЛМИ, 2010. 102 с.
2. Rulev A. S., Yuferev V. G. The catena-logistical approach to the estimation and mapping of erosion processes on water catchment areas with the use of spaceaerophotos // Proceedings of the tenth International symposium on river sedimentation «Effects of river sediments and channel processes on social, economic and environmental safety». Moscow, 2007. P. 348–355.

Систематические и палеоэкологические исследования рода *Cladophlebis* — ископаемых папоротников норийско-рэтского этапа развития Челябинского грабена

М. Е. Леготин¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, Санкт-

Петербург, Университетская наб. 7/9, legotin-2003@mail.ru

Научный руководитель: к. б. н. О. В. Галанина, доцент кафедры
биогеографии и охраны природы СПбГУ

Среди большого числа папоротников, встречающихся во всех мезозойских флорах Северного полушария, представителям рода *Cladophlebis* принадлежит ведущая роль. Отпечатки целых вайй, перьев и отдельных сегментов этих папоротников зачастую буквально переполняют отложения, создавая впечатление ископаемого гербария. Будучи широко распространенными как во времени, так и в пространстве, *Cladophlebis* имеет большое значение для стратиграфии мезозойских континентальных отложений и реконструкции палеоэкологических условий мезозоя. Состав кладофлебисов нижнемезозойских отложений Челябинского бурогольного бассейна Восточного Урала изучен недостаточно.

Цель работы: изучить видовой состав рода *Cladophlebis* коллекции Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН и образцов, отобранных автором во время экспедиции.

Во время геологической экспедиции на отвалы шахты «Октябрьская» отобрано 89 образцов фоссилий (август 2022 г.) разной степени сохранности, образцы хорошей сохранности пополняют коллекцию лаборатории палеоботаники Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН.

Родовое название *Cladophlebis* было впервые предложено Броньяром в 1849 г. [1] для обозначения ископаемых папоротников из группы *Pecopteris*, известной по стерильным вайям.

В настоящее время под «*Cladophlebis*» понимается сборный искусственный род, систематическое положение которого в *Filicales* из-за отсутствия находок органов спороношения пока не установлено. По всей вероятности, *Cladophlebis* были гетерофильными папоротниками: спороношения помещались на сильно редуцированных видоизменённых фертильных вайях. Гетерофилия объясняет тот факт, что в ископаемом состоянии встречаются лишь стерильные вайи *Cladophlebis* без каких-либо признаков спороношений.

Однако морфологически отдельные представители рода *Cladophlebis* часто напоминают стерильные вайи представителей другого семейства. Как и у многих *Polypodiaceae*, у *Cladophlebis* часто наблюдается изрезанность по краям сегментов, прикрепленных всем слегка расширенным основанием к рахису пера. Это ещё раз подтверждает сборный характер рода *Cladophlebis*, к которому относят остатки папоротников, принадлежащих к различным семействам. Истинную систематическую принадлежность отдельных представителей *Cladophlebis* можно выяснить лишь путём углубленного и всестороннего изучения.

В мезозойской флоре Восточного Урала определён 21 вид из рода *Cladophlebis*.

Наиболее широко распространенными в мезозойских отложениях являются *Cladophlebis denticulata* (Brong.) Font., *C. haiburnensis* (L. et H.) Brong., *C. nebbensis* (Brong.) Nath., *C. whitbiensis* Brong., *C. vaccensis* Ward [2, 3]. Но и для них существовал период наибольшего расцвета, когда эти виды являлись основными элементами папоротниковых комплексов. Так, *C. denticulata* (Brong.) Font. начинает появляться в верхнем кейпере (норийский век), часто встречается в рэте, но наибольшего распространения достигает в нижнеюрское время, постоянно присутствуя во флорах Евразии. В средней юре *C. denticulata* (Brong.) Font. становится более редким, сохраняя своё значение только в Европе. И, хотя *C. denticulata* (Brong.) Font. продолжает встречаться вплоть до нижнего мела, его роль постепенно становится ничтожной [4].

Кроме широко распространенных видов *Cladophlebis*, во многих районах встречаются эндемичные формы, которые имеют особенно важное значение для региональной стратиграфии, так как обычно находки их приурочены к определённым стратиграфическим единицам. Такими видами для мезозойских отложений Восточного Урала будут: *C. uralica* Prynada, *C. tuhajkulensis* Prynada, *C. jolkinensis* Prynada, *C. lineifolia* Kiritchkova sp. n. Это объясняется существованием в мезозое разных фитогеографических провинций, в которых виды могли появляться раньше или исчезать позднее. Так, например, *C. haiburnensis* (L. et H.) Brong. в Корее и Японии встречается в рэтских и нижнеюрских комплексах растений [1, 2, 5].

***Cladophlebis denticulata* (Brongniart) Fontaine.** Диагноз вида по Броньяру (1824): вайи дваждыперистые, перья вытянутые, заостренные, расположены близко друг к другу, сегменты цельные, неравнобокие,

верхние сегменты дугообразно изогнуты, срединные — ланцетовидные, нижние — продолговато-ланцетовидные, заостренные, мелкозубчатые по краю; срединная жилка прямая, боковые жилки прямо у основания делятся на прямые параллельные ветви. Уральские остатки, описываемые автором, представлены тремя отпечатками, один из них (образец № 129/681) наиболее близок к оригиналу данного вида у Броньяра, повторяя форму, тип края и жилкование сегментов. Два образца, отобранные автором, отнесены к данному виду с вопросом из-за плохой сохранности.

***Cladophlebis haiburnensis* (Lindley et Hutton) Brongniart.** Впервые подобные остатки папоротников были описаны Линдлей и Хуттоном в 1837 году из оолита Англии как *Pecopteris haiburnensis*, где авторы казали, что для папоротника характерны крупные размеры, широкие прямые или слегка изогнутые сегменты с притупленной верхушкой и с многочисленными и неоднократно ветвящимися боковыми жилками. Впоследствии папоротники подобного типа описывались неоднократно под различными родовыми названиями. Уральские остатки, описываемые автором, совершенно неотличимы от *C. haiburnensis* (L. et H.) Brong. Судя по внешнему виду крупных сегментов, можно предположить, что папоротник произрастал в мягких тепловлажных условиях прибрежных зон.

***Cladophlebis whitbiensis* Brongniart.** Самостоятельность вида *C. whitbiensis* Brong. многие авторы отвергали. Однако, *C. denticulata* (Brong.) Font. отличается от *C. whitbiensis* Brong. формой сегментов с острой вершиной, то отличается от последнего мелкозубчатым краем и один раз ветвящимися боковыми жилками. В то же время для *C. haiburnensis* (L. et H.) Brong. характерны языковидные прямые сегменты с закругленной верхушкой, крупные по размерам, что отличается от *C. whitbiensis* Brong. Уральские отпечатки изучаемого папоротника, особенно образец № 129/681 наиболее близки к данному виду, описанному из оолита Индии как *Alethopteris whitbiensis*, принадлежащий к *C. whitbiensis* Brong.

***Cladophlebis nebbensis* (Brongniart) Nathorst** довольно широко был распространен в мезозойских (особенно среднемеозойских) флорах Евразии. Впервые он был описан Броньяром (Brongniart, 1828) как *Pecopteris nebbensis* со следующим диагнозом: вайи дваждыперистые, сегменты супротивные, овальные, слегка заостренные, в основании несколько сросшиеся, главная жилка расположена посередине, боковые

жилки ветвящиеся, параллельные, несколько сближенные. В 1876–1878 гг. Натгорст (Nathorst) расширил и уточнил диагноз *C. nebbensis* (Brongn.) Nath., проиллюстрировав его большим фактическим материалом. Натгорст отмечал, что это довольно крупный папоротник с дваждыперистыми вайями, с языковидными или лентовидными крупными сегментами; последние с ровным или зазубренным краем и закругленной верхушкой. Боковых жилок у крупных экземпляров 10–13 пар, из них нижние пары дихотомируют дважды. Образцы из нашей коллекции можно отнести к этому виду.

Cladophlebis uralica Prynada — уральская эндемичная форма, впервые выделена В. Д. Принадой в 1940 г. из отложений Елkinsкого и Челябинского бассейнов. Этот крупнолистный оригинальный папоротник играл, видимо, важную роль во флоре мезозоя Восточного Урала и по своим морфологическим признакам резко отличается от других папоротников. На Восточном Урале *C. uralica Prynada* более всего характерен для рэтских и нижнелейасовых отложений, где, видимо, был одним из важных компонентов растительности того времени.

Cladophlebis tuhajkulensis Prynada был впервые установлен в 1940 г. В. Д. Принадой для верхнетриасовой флоры Челябинского и Елkinsкого бассейнов восточного склона Урала. Наиболее близок к *C. tuhajkulensis Prynada* *C. vaccensis Ward*. Это тоже некрупный папоротник с мелкими цельнокрайними сегментами, с небольшим количеством боковых жилок. Однако для уральского папоротника характерна округлость или широкотреугольность сегментов, с совершенно округленной верхушкой, у которых длина почти равна ширине. Небольшое количество боковых жилок, из них почти все дихотомируют дважды; извилистость главной жилки, не доходящей до верхушки сегмента, — она два раза ветвится близ верхушки. Этих признаков мы не находим у *C. vaccensis Ward*., у которого более мощный рахис как вайи, так и перьев, более вытянутые сегменты и отношение их длины к ширине равно приблизительно 1 : 2; главная жилка прямой доходит до верхушки, а боковые жилки, количество которых больше, — дихотомируют дважды не все. Материал по *C. tuhajkulensis Prynada*, собранный из Челябинского бассейна, неотличим от оригиналов, описанных В. Д. Принадой, лишь дополняет характеристику уральского вида и ещё раз подтверждает его самостоятельность.

Изучив собранные материалы и сравнив отпечатки триасовой флоры, найденные на терриконе шахты «Октябрьская», с образцами из

коллекции Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН, мы получили следующие результаты:

1) Принадлежность видового состава растений триаса к среднему или верхнему слою Ерофеевского флористического комплекса подтверждает наличие в отложениях большого количества видов рода *Cladophlebis*;

2) Создано 20 зарисовок основных черт строения рода *Cladophlebis*, а также полные морфологические описания каждого найденного вида;

3) В связи с различными условиями произрастания видовой состав триасовой флоры на территории Челябинского бассейна различен, но *C. denticulata* (Brongniart) Fontaine, *C. haiburnensis* (Lindley et Hutton) Brongniart и *C. nebbensis* (Brongniart) Nathorst встречались во всех местах отбора образцов и доминировали в отложениях.

4) Сделано предположение о локальных палеоэкологических условиях обитания фоссилий: благодаря уникальности условий существования растений на территории Челябинского грабена в триасовый период, район, вероятнее всего, находился в предгорье и был заболочен, т. к. вместо крупнолистных папоротников, которые характерны Ерофеевскому флористическому комплексу, произрастало большое количество мелколистных, особенно *C. denticulata* (Brongniart) Fontaine., о чём говорят многочисленные находки отпечатков этих растений. Также на уникальность условий указывает большое количество эндемичных видов, например, *C. uralica* Prynada и *C. zauronica* Prynada. Таким образом, весь состав нижнемезозойской флоры указывает, что в растительном покрове Восточного Урала в это время преобладали лесные формации с пышным папоротниковым покровом, ведущую роль в котором занимал *Cladophlebis*.

Кроме того, в рамках данной работы была проверена валидность всех видов ископаемых папоротников рода *Cladophlebis*, хранящихся в лаборатории палеоботаники Ботанического института им. В. Л. Комарова РАН. Так, голотип *Cladophlebis tuhajkulensis* Prynada был включён в Глобальный реестр научных названий ископаемых организмов, Международный свод номенклатуры водорослей, грибов и растений («The International fossil plant names index»).

Автор благодарит зав. лабораторией палеоботаники БИН РАН к. б. н. Н. В. Носову за помощь в выполнении данного исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brongniart A. Tableau des genres de vegetaux fossiles, consideris sous le point de vue de leur classification botanique et de leur distribution géologique : Extrait du Dictionnaire universel d'histoire naturelle. Paris, 1849.
2. Криштофович А. Н., Принада В. Д. О рэто-лейасовой флоре челябинского буроугольного бассейна Восточного Урала // Труды всесоюзного геолого-разведочного объединения НКТП СССР. Вып. 346. Л., М., Новосибирск : НКТП-ОНИИ, Государственное Научно-Техническое Горно-Геолого-Нефтяное издательство, 1933. 40 с.
3. Brongniart A. Histôrie des vègetaux fossiles. t. I. Paris, 1828.
4. Киричкова А. И. Род *Cladophlebis* в нижнемезозойских отложениях Восточного Урала // Палеонтологический сборник № 3. Л. : “Недра”, 1962. 80 с.
5. Barbacka M., Bodor E. Systematic and palaeoenvironmental investigations of fossil ferns *Cladophlebis* and *Todites* from the Liassic of Hungary. 2020.

Магнитные методы в изучении дневных и погребенных почв северной перигляциальной зоны Русской равнины

В. А. Лобков^{1,2}, И. Г. Шоркунов^{1,2}, Е. В. Гаранкина²,

Е. Д. Шеремецкая¹, В. А. Шевченко²

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
vasilylobkov@igras.ru

²Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

Магнитные свойства почв определяются несколькими группами факторов (литогенными, климатическими, собственно педогенными процессами и некоторыми другими) и могут быть использованы в изучении осадконакопления, диагенеза и почвообразования, а также пространственной организации почвенных признаков. К наиболее широко применяемым магнитным методам относятся магниторазведка (измерение компонент магнитного поля Земли) и методы, связанные с определением магнитной восприимчивости (МВ). Относительно малая трудозатратность по сравнению с классическими аналитическими методами делает возможным решение задач по детальному определению почвенной неоднородности, в том числе идентификации признаков, относящихся к прошлым этапам почвообразования [1, 2]. На данный момент опубликован ряд работ, содержащих данные о магнитных параметрах почв северной части перигляциальной зоны Валдайского оледенения, характеризующихся ярко выраженной комплексностью и полигенетичностью [3, 4, 5, 6]. В то же время, эти данные не были интегрированы в решение собственно палеогеографических и палеопедологических задач. На основе опубликованного в литературе и собственного материала нами предпринята попытка оценить потенциал магниторазведки и каппаметрии для задач пространственного анализа поверхностных педолитокомплексов междуречий региона в масштабах почвенных индивидуумов (педонов) и элементарных почвенных ареалов (полипедонов). Сочетание магниторазведки с шагом измерений первые десятки см — первые м с детальной каппаметрией с шагом измерений 10–30 см на вертикальных и горизонтальных срезах позволяет выявлять ряд реликтовых поздневалдайско-голоценовых образований: вторые гумусовые горизонты (ВГГ), палеокриогенные структуры, линзы пирогенного материала. Увеличение значений МВ в

верхней части исследуемой толщи связано с формированием тонкозернистого педогенного магнитного материала [2]. Данная закономерность наиболее четко прослеживается в почвах с ВГТ, датировемыми началом-серединой голоцена [7] и темноцветными грунтовыми жилами, датировемыми позднеледниковьем [8], что указывает на контрастные окислительно-восстановительные условия почвообразования в позднеледниковье — середине голоцена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагапов И. М., Алексеев А. О. Магнитная восприимчивость в оценке пространственной и профильной неоднородности почв, обусловленная палеоэкологическими факторами // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 5. С. 99–106.
2. Dearing J. A., Dann R. J. L., Hay K., Lees J. A., Loveland P. J., Maher B. A., O'Grady K. Frequency-dependent susceptibility measurements of environmental materials // Geophys. J. Int. 1996. 124. P. 228–240. DOI 10.1111/j.1365-246X.1996.tb06366.x
3. Ерохин С. А., Модин И. Н., Паленов А. Ю., Шевнин В. А. Картирование реликтовых криогенных полигональных структур с помощью геофизических методов // Инженерные изыскания. 2011. № 11. С. 30–34.
4. Коснырева М. В. Разработка комплекса геофизических методов для решения прикладных задач почвенного картирования : автореферат дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2007.
5. Модин И. Н., Ерохин С. А., Красникова А. М., Шоркунов И. Г., Шевченко В. А., Скобелев А. Д. Геофизические исследования не выраженного на поверхности средневекового некрополя Шекшово-9 (Суздальское Ополье) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2020. № 6. С. 3–15.
6. Модин И. Н., Ерохин С. А., Шевченко В. А., Красникова А. М. Влияние фонового почвенно-геологического разреза на эффективность геофизических исследований в археологии (Суздальское ополье) // Геофизика. 2022. № 6. С. 106–114.
7. Александровский А. Л., Чендев Ю. Г., Юртаев А. А. Почвы со вторым гумусовым горизонтом и палеочерноземы как свидетельства

эволюции педогенеза в голоцене на периферии лесной зоны и в лесостепи (обзор) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 147–167.

8. Милановский Е. Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М. : ГЕОС, 2009. 186 с.

Новые данные о хронологии плейстоценового оледенения хребта Черского

М. С. Лукьянычева^{1,3}, С. Г. Аржанников², А. В. Аржанникова²,
А. А. Чеботарев², Н. В. Торговкин³, Д. В. Семиколенных⁴

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
mashluk95@igras.ru

²Институт Земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128

³Институт мерзлотоведения СО РАН, 677010, Якутск, Мерзлотная ул., 36

⁴Географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1

Одним из наиболее ярких проявлений изменений климата в четвертичном периоде являются горные и покровные оледенения. Оценка масштабов и хронологии оледенения гор Северо-восточной Сибири, одного из наименее изученного региона, остается актуальной задачей при реконструкциях природной среды Евразии. Районом, где выделяются серии древних морен, является хребет Черского. Однако, к настоящему времени отсутствуют результаты палеогляциологических и геоморфологических исследований в этом регионе, отмечается отсутствие абсолютных датировок, что затрудняет восстановление ледниковой истории. С целью уточнения положения границ четвертичных ледников проведены исследования на юго-восточном окончании хребта Черского в долине р. Малык-Сиен. В исследуемой долине выделяется область распространения ледниковых отложений, выраженная вало-западинным рельефом с редкими вкрапленниками ледниковых валунов. Было проведено опробование валунов с поверхности моренных гряд и получены 22 космогенные даты на основе анализа содержания in-situ ¹⁰Be.

Результаты исследования показывают, что в долине отчётливо выделяются 3 фазы продвижения ледников, которые фиксируются крупными гребнями конечных морен. По наземным космогенным радионуклидам ограничена ледниковая хронология долины: время формирования для внешнего вала связано с МИС 6, для средней — МИС 3 и внутренней — LGM. Интерпретация результатов показывает, что позднеплейстоценовое оледенение хребта Черского, как и для других районов Северо-Восточной Сибири [1, 2, 3] имело горно-долинный характер и ограничивалось участками высокогорья, что отличается от масштабных покровов Северной Америки и Европы. Как и в других районах северо-

востока Сибири данные для хребта Черского подчеркивают тренд к уменьшению протяженности ледников региона начиная с МИС 6. Такая тенденция к сокращению, вероятно, связана с экстремальными континентальными условиями, наблюдаемыми во внутренних районах Евразии и отсутствия достаточного количества осадков для поддержания развития крупных ледников. Постепенное уменьшение площади ледников отражает криоаридизацию регионов и снижению влажности на протяжении позднего плейстоцена, вызванные ростом Лаврентийского и Скандинавского ледниковых щитов, которые эффективно изменили характер атмосферной циркуляции во этапы ледниковых максимумов [4, 5].

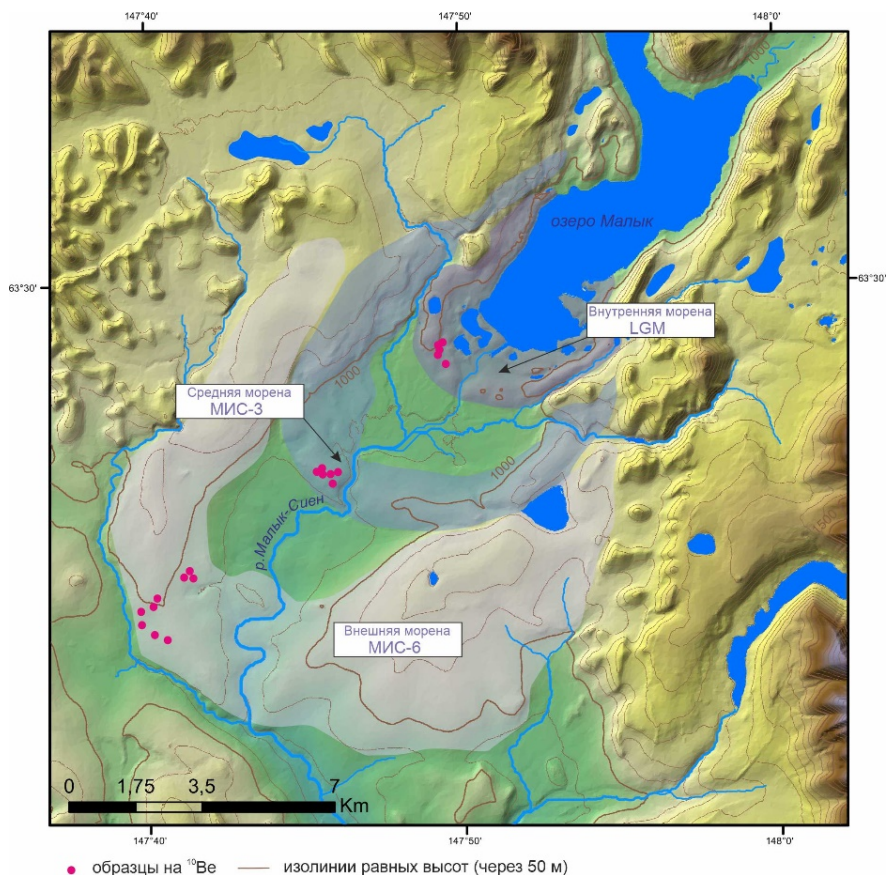


Рисунок 1. Положение конечных морен в долине р. Малый-Сиен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brigham-Grette J., Gualtieri L. M., Glushkova O. Y., Hamilton T. D., Mostoller D., Kotov A. Chlorine-36 and ^{14}C chronology support a limited last glacial maximum across central Chukotka, northeastern Siberia, and no Beringian ice sheet // *Quaternary Research*. 2003. Vol. 59, № 3. P. 386–398.
2. Gualtieri L., Glushkova O., Brigham-Grette J. Evidence for restricted ice extent during the last glacial maximum in the Koryak Mountains of Chukotka, Far Eastern Russia // *Geological Society of America Bull.* 2000. Vol. 112, № 7. P. 1106–1118.
3. Stauch G., Lehmkuhl F. Quaternary glaciations in the Verkhoyansk Mountains, Northeast Siberia // *Quaternary Research*. 2010. 74(1). P. 145–155.
4. Krinner G., Diekmann B., Colleoni F., Stauch G. Global, regional and local scale factors determining glaciation extent in Eastern Siberia over the last 140,000 years // *Quaternary Science Reviews*. 2011. 30(7-8). P. 821–831.
5. Löffverström M., Caballero R., Nilsson J., Kleman J. Evolution of the large-scale atmospheric circulation in response to changing ice sheets over the last glacial cycle // *Climate of the Past*. 2014. 10(4). P. 1453–1471.

Эволюция болотных комплексов северо-запада плато Путорана

Е. А. Макарова^{1,2}, Н. Г. Мазей¹, А. А. Чепурная¹, Е. Ю. Новенко^{1,2}

¹МГУ им. М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1,
katmak2001@gmail.com

²Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

В торфяных залежах болот сохраняется информация об изменениях окружающей среды в прошлом, поэтому они выступают в качестве источника палеоэкологических данных, основываясь на которых, можно выявить основные закономерности эволюции ПТК и попробовать спрогнозировать их изменения в будущем. Это особенно актуально для Средней Сибири благодаря обширному распространению многолетней мерзлоты, приводящей к уязвимости ландшафтов данного региона.

В качестве объектов исследования было выбрано два болота, названных нами Микчангда-1 и Микчангда-2, которые образовались в понижениях моренной равнины сартанского возраста [1] в 5 км к востоку от устья реки Микчангды на побережье озера Лама (северо-западная часть плато Путорана, Красноярский край).

В ходе полевых работ в августе 2022 г. были пробурены торфяные залежи этих болот (175 и 200 см), выполнены ландшафтные описания (18 точек) [2] и отобраны образцы мхов (63). Для отобранных образцов мхов была определена видовая принадлежность [3, 4] и составлена схема их распределения в зависимости от влажности и трофности. На основании полевых описаний и дистанционных данных (космические снимки, ЦМР ArcticDEM) составлены крупномасштабные ландшафтные карты изучаемых болот. В лабораторных условиях были выполнены анализ ботанического состава торфа (70 образцов), определение потерь при прокаливании (141 образец) и степени гумификации торфа (141 образец). Анализ ботанического состава торфа проведен по методике, разработанной Тюремновым [5]. Определение потерь при прокаливании выполнено методом сухого озоления в муфельной печи при температуре 550 °С. Определение степени гумификации торфа основано на измерении его оптической плотности [8]. Образцы были отобраны с интервалом 3–6 см.

Результаты исследований показали большое разнообразие комплексов болота Микчангда-1, которое относится к плоскобугристо-ложбинно-топяному типу [6]. Для болота Микчангда-2 характерны более

однородная ландшафтная структура и пологонаклонная, выровненная поверхность. Оно относится к плоским эвтрофным и мезотрофным травяно-гипновым болотам с элементами крупнобугристых болот [6].

Мозаичность местообитаний плоскобугристых болот обусловила высокое разнообразие видов мхов, что подтверждается нашими исследованиями. В пределах болота Микчангда-1 обнаружено 24 вида. Анализ экологической приуроченности видов мхов показал наибольшую распространенность *Sphagnum russowii* среди сфагновых мхов. Это вид, произрастающий преимущественно на кочках и предпочитающие сухие, бедные условия, что отмечено в литературных источниках [3] и подтверждено нашими данными. В схожих местообитаниях произрастают *S. capillifolium* и *S. fuscum*. Они были обнаружены на высоких кочках (УБВ > 50 см) в понижениях в пределах плоскобугристого болота. *S. riparium* предпочитает пониженные части западин и ложбин (УБВ = 0–5 см). Наиболее распространенные зеленые мхи — *Paludella squarrosa*, *Aulacomnium palustre* и *Pleurozium shreberii*. Мох *Paludella squarrosa* обнаружен в пределах плоских травяных участков болот и приурочен к обводненным мочажинам. *Aulacomnium palustre* произрастает как на кочках, так и в мочажинах болот. *Pleurozium shreberii* преимущественно встречается на буграх пучения и крупных кочках. Также на буграх пучения широко распространены виды рода *Polytrichum*. Остальные виды мхов были зафиксированы только на одной точке, что указывает на их строгую приуроченность к определенным ПТК.

Согласно результатам анализа ботанического состава торфа, в развитии болота Микчангда-1 можно выделить 7 этапов (рис. 1), а болота Микчангда-2–5 этапов (рис. 2). Увеличение гумификации указывает на иссушение поверхности болота, а ее уменьшение — на обводнение [8]. Снижение потерь при прокаливании свидетельствует об увеличении минерального компонента в торфе, что связано с внешним привносом вещества (рис. 3).

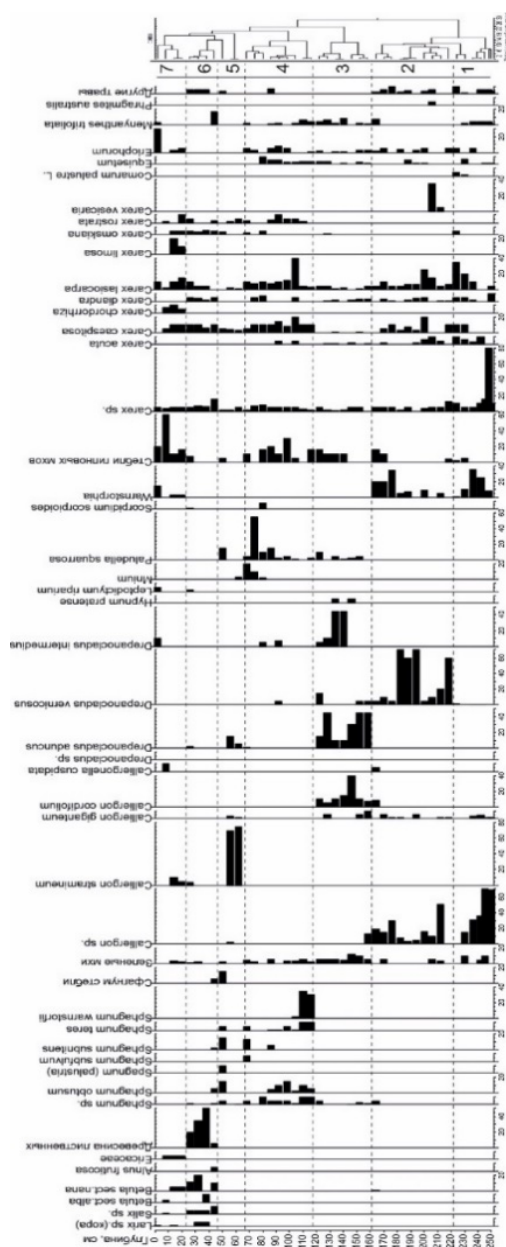


Рисунок 1. Результаты анализа ботанического состава торфа болота Микчангда-1.

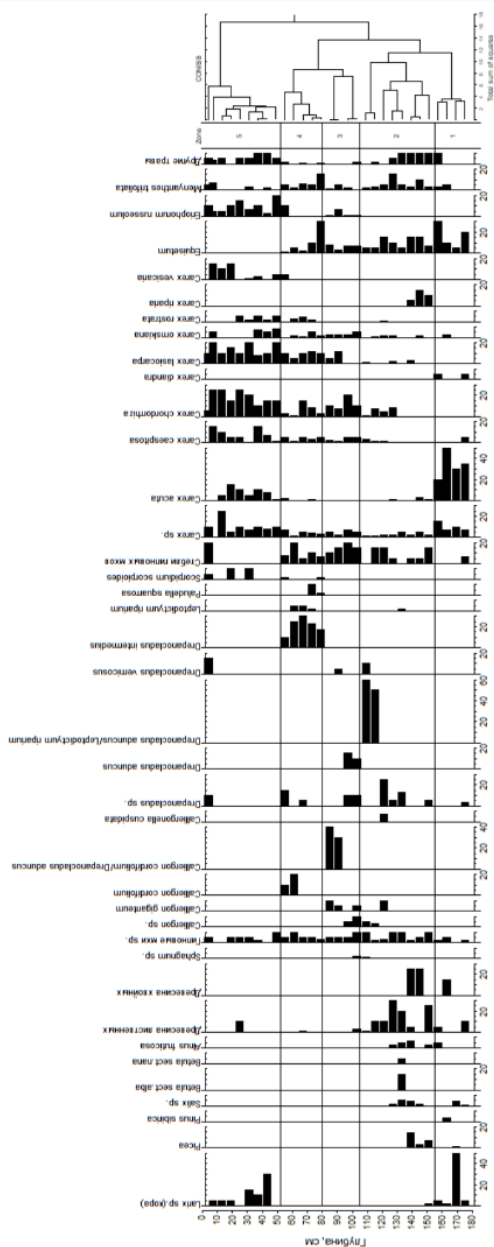


Рисунок 2. Результаты анализа ботанического состава торфа болота Микчангда-2.

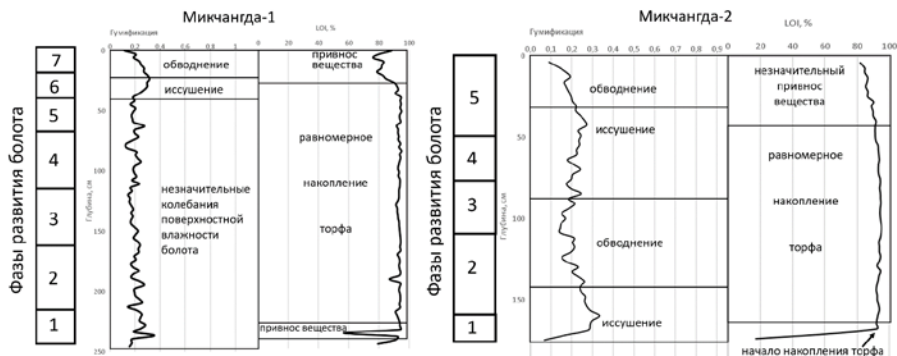


Рисунок 3. Результаты определения степени гумификации торфа и потерь при прокаливании болот Микчангда-1 и Микчангда-2.

На 1 этапе развития (зона 1, 220–250 см) для растительного покрова было характерно преобладание гипновых мхов при участии осок. Далее (зона 2, 160–220 см) изменился видовой состав мхов. На следующем этапе (зона 3, 120–160 см) снова произошла смена мохового яруса. На 4 этапе (зона 4, 67–120 см) в растительном покрове появились сфагновые мхи, предпочитающие мезотрофные среднеобводненные условия, что, вероятно, указывает на промерзание. Для следующего этапа (зона 5, 48–67 см) характерно преобладание *Calliergon stramineum* (70%). Во время 6 этапа (зона 6, 22–48 см) на болоте появилось большое количество деревьев и кустарников (70–80%). Направленное развитие болота Микчангда-1 в сторону олиготрофизации прервалось, и оно снова стало эвтрофным, вероятно, вследствие пожара. На 7 этапе (зона 7, 0–22 см) произошла смена растительности на осоки и гипновые мхи (*Warnstorfia*, *Leptodictyum riparium* и *D. vernicosus*), которые свидетельствуют о сильно обводненных условиях.

На 1 этапе развития (зона 1, 155–175 см) в растительном покрове болота Микчангда-2 преобладали осоки (40–60%). Следующий этап (зона 2, 105–155 см) характеризуется значительным количеством (до 30–50%) древесных остатков. На 3 этапе (зона 3, 80–105 см) исчезли остатки древесины, лидирующие позиции стали занимать гипновые мхи (60%). Для 4 этапа (зона 4, 50–80 см) характерно преобладание осоково-гипновых сообществ. На последнем этапе (зона 5, 0–50 см) снова появились остатки коры лиственницы, практически исчезли гипновые мхи и вахта. Доля осок увеличилась до 60–75%. Вероятно, на данном этапе сначала

произошло иссушение поверхности болота, которое привело к исчезновению гипновых мхов и появлению лиственницы.

Полученные данные показали, что развитие изучаемых болот отличается начиная с самых ранних этапов. Микчангда-2 сформировалось путем суходольного заболачивания на месте влажного лиственничника и длительное время было залесенным. Только на 3 этапе развития болото стало осоково-гипновым. В отличие от него, Микчангда-1 с самого начала образовалось как низинное травяно-гипновое болото, а его растительность претерпевала изменения, связанные с переменой условий увлажнения и процессами саморазвития: происходили периодические смены осок и различных видов гипновых мхов. Во время 4 этапа на болоте Микчангда-1 сформировалась сфагновая гряда, что вероятно связано с активизацией мерзлотных процессов и пучением, а затем изучаемое болото протаяло и обводнилось. В отличие от него Микчангда-2 никогда не промерзало, а рассматриваемая мочажина все время оставалась талой. Следующие этапы развития изучаемых болот достаточно похожи: стала преобладать древесно-кустарниковая растительность. Болото Микчангда-1 до этого момента испытывало направленное развитие в сторону олиготрофизации, а появление низинного залесенного болота, возможно, связано с иссушением его поверхности и пожаром. Микчангда-2, вероятно, тоже испытывало иссушение, а на его поверхности сформировалась небольшая гряда, создавшая благоприятные условия для произрастания лиственницы. На следующих этапах оба болота обводнились. Согласно результатам определения потерь при прокаливании, начался привнос вещества на их поверхность. В растительном покрове стали преобладать осоки, гипновые мхи и пушица, что можно наблюдать и в настоящее время. Рассматриваемые мочажины сейчас достаточно похожи, однако современная ландшафтная структура изучаемых болот сильно отличается.

Результаты исследований двух болот на северо-западе плато Путорана позволяет выявить отличия в особенностях их эволюции, начиная с ранних этапов развития. Болото Микчангда-1 преимущественно было низинным осоково-гипновым, а его развитие, которое было осложнено мерзлотными процессами: сначала промерзанием, а затем протаиванием, шло в направлении олиготрофизации, но было прервано, возможно, пожаром. Болото Микчангда-2 также было низинным, но с преобладанием древесно-кустарниковой растительности. В отличие от

Микчангды-1, оно не промерзало. В настоящее время мочажины изучаемых болот похожи между собой. Современные различия болотных комплексов обусловлены как эволюционными особенностями, так и ландшафтными факторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации : Масштаб 1:1000000 (новая серия). Лист R-(45)-47 – Норильск. Объяснительная записка. СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 479 с., 11 вкл.
2. Жучкова В. К., Раковская Э. М. Методы комплексных физико-географических исследований : Учебное пособие для студентов ВУЗов. М. : Академия, 2004. 368 с.
3. Игнатов М. С., Игнатова Е. А. Флора мхов средней части Европейской России. В 2 т. М. : КМК, 2003, 2004. 944 с.
2. Носкова М. Г. Полевой атлас-определитель сфагновых мхов таежной зоны Европейской России. Тула : Аквариус, 2016. 112 с.
3. Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Недра, 1976. 488 с.
4. Усова Л. И. Практическое пособие по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков различных типов болот Западной Сибири. СПб. : Нестор-История, 2009. 80 с., ил.
5. Andreev A. A., Tarasov P. E., Klimanov V. A., Melles M., Lisitsyna O. M., Hubberten H.-W. Vegetation and climate changes around the Lama Lake, Taymyr Peninsula, Russia during the Late Pleistocene and Holocene // Quaternary International. 2004. Vol. 122. P. 69–84.
6. Chambers F. M., Beilman D. W., Yu Z. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics // Mires and Peat. 2010. Vol. 7. P. 1–10.

История почвообразования на равнинах среднего Дона за последние 130 тыс. лет

О. И. Манакова¹, Ф. Г. Курбанова², Е. А. Константинов²

¹МГУ имени М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1,
oliamanakova@yandex.ru

²Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

Исследование палеопочв необходимо для получения информации об условиях образования и факторах, влияющих на формирования почвенных профилей в прошлом. Данные для палеогеографических реконструкций сохраняются в свойствах компонентов твердой фазы почв, в том числе в минералогическом, гранулометрическом и химическом составах [1].

Как отмечает Т. Д. Морозова [2], полнота и достоверность сведений об особенностях древнего педогенеза, хроностратиграфическая принадлежность горизонтов палеопочвы во многом зависят от элементов рельефа, на которых они расположены. Так, можно разделить ископаемые почвы на преобладающие на плато полнопрофильные почвы и почвы с неполноразвитым профилем, педоседименты.

Палеолитические стоянки древнего человека, обнаруженные в районе сёл Костёнки и Борщёво в Хохольском районе Воронежской области, расположены в сложных геоморфологических позициях. Почвы таких археологических памятников, находящихся в условиях склонов, на балочных террасах и мысах, при хроностратиграфических построениях должны использоваться с большой осторожностью, под контролем данных датирующих методов и корреляцией между скважинами и раскопами. Однако в толще делювиально-пролювиальных отложений, вблизи подножья крутых склонов и балок, сложенных коренными меловыми и песчаными породами, воспроизводимость региональных климатических сигналов низка, в том числе из-за большого числа стратиграфических несогласий. Профили почв тут могут быть неполными или представлять собой деформированные гумусированные прослои. В связи с этим возникает необходимость исследования полнопрофильных палеопочв плакорных позиций для изучения условий почвообразования. Деформации отложений Костенковского археологического комплекса, которые являются предметом многолетних дискуссий [3, 4, 5], делают затруднительным корреляции с Гренландской ледниковой летописью.

Более того, топографическое положение археологического памятника Костенки и свидетельства склоновой эрозии, не позволяют делать выводы о региональных климатических условиях формирования Костенковской толщи. До сих пор ведется дискуссия о том, отражают ли уровни почвообразования в покровной толще различные периоды потеплений или являются результатом неоднократного смыва одной почвы [6]. Также остаются нерешенными вопросы о криогенных процессах или сезонного промерзания-оттаивания в палеопочвах Костёнок. Именно поэтому необходима детальная высокоразрешающая литолого-стратиграфическая характеристика Костенковской толщи и независимого архива, находящегося в автоморфной позиции, и их последующая корреляция.

В качестве объекта, в толще которого можно найти необходимый стратиграфический сигнал, были выбраны эоловые отложения на водораздельном плакорном пространстве близ города Бобров Воронежской области. Буровая скважина глубиной 11,1 м вскрыла толщу позднелейстоценовых отложений. Для анализа в лаборатории образцы были отобраны шагом 10 см определены следующие параметры: измерение спектральных характеристик отложений ($CIE-L^*a^*b^*$), анализ гранулометрического состава (Malvern Mastersizer 3000), последовательное определение потерь при прокаливании (ППП 550 и 950 °C), магнитная восприимчивость отложений (ZHinstruments SM-30, частоты 500 и 4000 Hz).

Для статистического анализа использовался метод главных компонент и иерархическая кластеризация (метод Варда, Евклидово расстояние). Обработка проводилась в программах R и STATISTICA. Метод главных компонент (МГК/ PCA) выявил наиболее значимые признаки для двух главных компонент ГК1 и ГК2 (PC1, PC2) на основе корреляций десяти факторов для 90 переменных. Разделение на 4 кластера выделено цветом и наложено на переменные первый и второй ГК (рис. 1). Первый кластер соответствует верхней толще, представленной голоценовым чернозёмом, он четко отделяется по физико-химическим параметрам. Второй кластер соответствует лёссовому осадку и, предположительно, Брянской палеопочве. Они схожи между собой по аналитическим данным, так как лёссовая толща находится под влиянием поверхностной почвы, а погребённая палеопочва выражена слабо, в основном по магнитной восприимчивости. Третий кластер захватывает нижнюю часть палеопочвы, её карбонатный горизонт и материнскую породу, представленную, по-видимому, Хотылёвским лёссом. Четвёртый кластер четко

дифференцирует Мезенский педокомплекс, состоящий из серий лёссово-почвенных слоёв, переходящих в нижнюю почву на глубине 10 метров. Предположительно, эта палеопочва была образована в более гидроморфных условиях.

BOBR-22

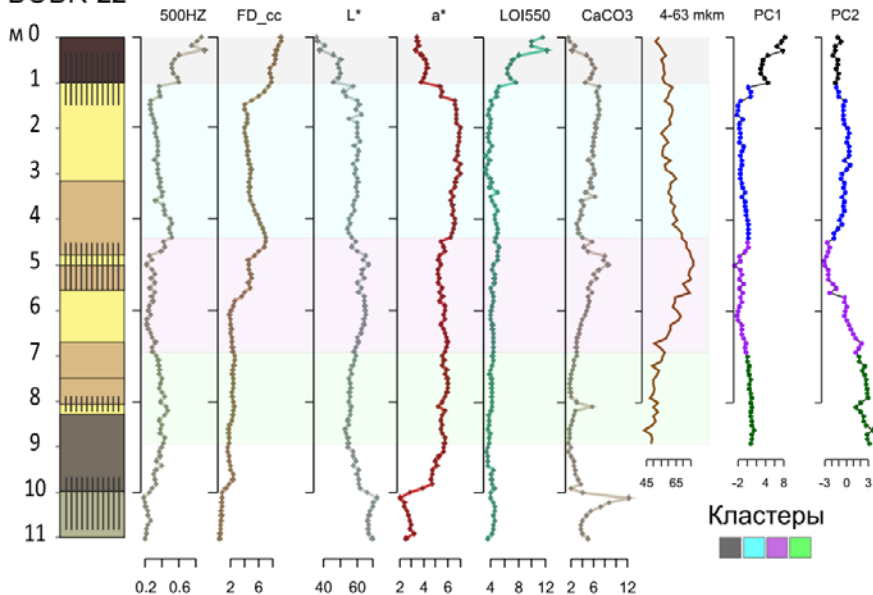


Рисунок 1. Скважина Бобров-2022. Распределение физико-химических свойств по глубине.

Кластеры: 1 — черный, 2 — синий, 3 — фиолетовый, 4 — зелёный.

Данные анализа главных компонент позволяют проследить почвенные (PC1) и седиментационные (PC2) изменения. Так, ГК 1, которая отражает распределение таких переменных, как цветность L^* и магнитная восприимчивость, показывает нам почвообразования (положительные значения соответствуют почвам и палеопочвам, отрицательные — лёссовым толщам).

Кроме того, по лёссовой климатостратиграфии разреза близ села Отказное (Ставропольский край), была построена возрастная модель (байесовское возрастное моделирование) и скорость накопления осадка в лёссово-почвенной толще (рис. 2). На данном рисунке видно, что ГК2 (PC2) коррелирует с темпами осадконакопления, сглаживая их. Видно,

что второй кластер соответствует увеличению темпов осадконакопления, где в пределах 20 тыс. лет почвообразование постепенно затухало (это видно по магнитной восприимчивости и PC1) и накапливался эоловый осадок мощностью более 4 метров.

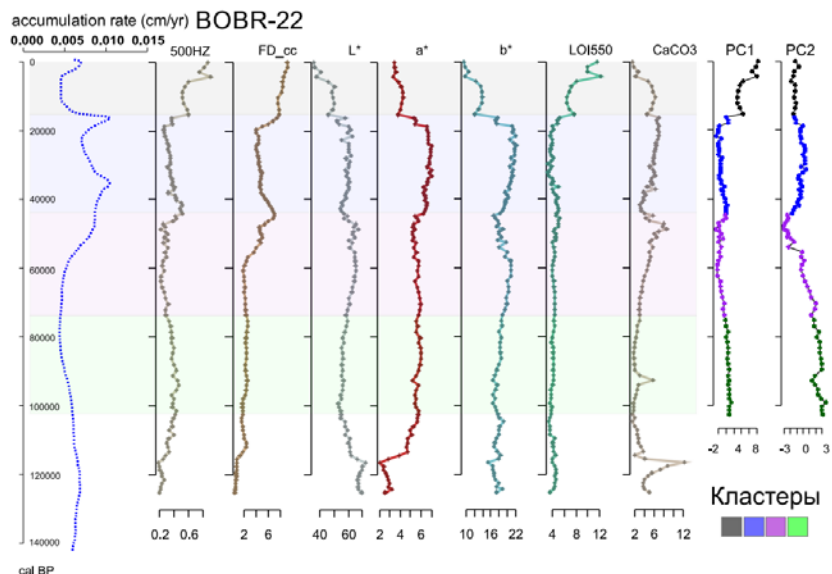


Рисунок 2. Скважина Бобров-2022. Скорость осадконакопления (см/год) и распределение физико-химических свойств по возрасту.

Кластеры: 1 — черный, 2 — синий, 3 — фиолетовый, 4 — зелёный.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таргульян В. О., Бронникова М. А. Память почв: теоретические основы концепции, современное состояние и перспективы развития // Почвоведение. 2019. № 3. С. 259–275.
2. Морозова Т. Д. Развитие почвенного покрова Европы в позднем плейстоцене. Москва : Наука, 1981. 282 с.
3. Седов С. Н., Хохлова О. С., Синицын А. А., Коркка М. А., Русаков А. В., Ортега Б., Соллейро Э., Розанова М. С., Кузнецова А. М., Каздым А. А. Позднеплейстоценовые палеопочвенные серии как инструмент локальной палеогеографической реконструкции (на примере разреза Костёнки 14) // Почвоведение. 2010. № 8. С. 938–955.

4. Бессуднов А. А., Синицын А. А., Диннис Р., Артюшенко А. А., Лада А. Р., Степанова К. Н., Малютина А. А., Бессуднова М. А., Петрова Е. А., Дука К. Костенки 17 (ст. Спицына): новые данные о стратиграфии, хронологии и условиях залегания культурных слоев // *Stratum plus* 2021. № 1. С. 163–198.
5. Седов С. Н., Синицын А. А., Бессуднов А. А. [и др.]. Отражение вековых и тысячелетних изменений природной среды в палеопочвах верхне-палеолитических стоянок Восточно-европейской равнины в МИС 3 и МИС 2 // *Геоморфология*. 2022. Т. 53, № 5. С. 69–77.
6. Бессуднов А. А. Виды постдепозиционных деформаций палеолитического культурного слоя (на примере костёнковской группы памятников) // *Stratum plus* 2022. № 1. С. 221–238.

Динамика криогенных оползней на территории западного побережья полуострова Ямал

М. А. Миронова¹, О. С. Сизов¹

¹РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина,
119991, г. Москва, проспект Ленинский, дом 65, корпус 1,
mma.ecology@gmail.com, kabanin@yandex.ru

Развитие криогенных оползней на территориях углеводородных месторождений — один из факторов ограничения их благоустройства и дальнейшей разработки [2]. Криогенный оползень характеризуется быстрым сползанием большой массы оттаявшего грунта по линии скольжения (водоупору) под действием силы тяжести, при этом продолжение сползания может продолжаться несколько лет [3].

Данная работа была выполнена с целью определения динамики развития криогенных оползней на территории газоконденсатного месторождения, расположенного на западном побережье полуострова Ямал.

Исследование проводилось путём дешифрирования аэрофотоснимков и данных дистанционного зондирования Земли высокого разрешения (0,15–0,8 м), полученных в 2014 и 2022 годах. Данный временной интервал включает начало обустройства месторождения, что позволяет выявить зоны максимального нарастания площадей нарушения и определить потенциальную опасность для уже построенных объектов инфраструктуры. Общая площадь территории исследования — 240,97 км².

Дешифрирование проводилось по основным дешифровочным признакам: светлая линия, зачастую полукруглой формы — это линия отрыва, а скопления сползнувшего материала выделяются из общей поверхности хаотичным расположением цветовых акцентов, возможно, мелкими водотоками [1]. В работе линия отрыва и оползневое тело выделялись в один объект.

По итогам дешифрирования общая площадь криогенных оползней, выделенная в 2014 г., составила 3,26 км², медианная площадь каждого отдельного оползня — 2 586,45 м², для 2022 года эти цифры, соответственно, 4,16 км² и 2 836,81 м². Таким образом, общая площадь территории, занятой криогенными оползнями, увеличилась на 906 690 м² (0,91 км², увеличение на 27%), а медианная площадь каждого оползня увеличилась на 250,36 м² (увеличение на 9,6%). Самое большое площадное изменение отмечено для территории кустов газовых скважин № 4 и

№ 5, где за данный период был сформирован оползень площадью 61 630 м² (0,062 км²), его ширина — 220 м, длина — 401 м.



Рисунок 1. Изменение площади криогенных оползней на территории исследования

Наибольшие изменения характерны для территории месторождения, расположенной между речным портом и кустом газовых скважин № 14. При проведении мониторинга в 2014 году повсеместное развитие криогенных оползней на территории отмечено не было, однако в 2022 году на территории появились 16 новых криогенных оползней.

Развивающиеся криогенные оползни являются потенциальной опасностью для строящейся инфраструктуры — 43% всех развивающихся (то есть изменённых) оползней находятся в буферной зоне шириной 300 м от объектов инфраструктуры месторождения. В процессе формирования оползней происходит нарушение целостности грунтов, что приводит к размытию насыпи дорожного полотна, отсыпок кустков скважин, нарушению устойчивости опор ЛЭП и трубопроводов. При этом часть линейных объектов была построена на теле оползней, на рис. 1 они отображены как «исключённые оползни».

Исходя из всего вышеперечисленного, можно сделать вывод о существующей локализации развития криогенных процессов в определённых зонах месторождения, а также их концентрации вблизи строящихся объектов инфраструктуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимов А. В., Сизов О. С. Дистанционное геопространственное информационное обеспечение недропользования в условиях крайнего севера: предотвращение рисков, связанных с термоэрозией // Геоматика. 2013. № 3. С. 50–58.
2. Анисимов О. А., Белолутская М. А. Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России // Метеорология и гидрология. 2002. № 6. С. 15–22.
3. Лейбман М. О, Кизяков А. И, Арчегова И. Б., Горланова Л. А. Этапы развития криогенного оползня на Югорском полуострове и Ямале // Криосфера Земли. 2000. № 4 (4). С. 67–75.

Реконструкция обстановок осадконакопления в голоцене в озере Погоново Воронежской области

А. А. Моргунова¹, А. И. Рудинская², Е. А. Константинов²

¹НИУ ВШЭ, Москва, 109028, ул. Покровский б-р, 11,

aamorgunova@edu.hse.ru

²Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29с4,

Основным из способов изучения климата прошлого является исследование различных природных архивов. Одним из таких архивов являются донные, в частности озерные отложения.

Данное исследование направлено на изучение донных отложений озера Погоново, которое находится в Воронежской области, на левом берегу реки Дон, в двух километрах от Костенковско-Борщевского комплекса палеолитических стоянок. В районе Верхнего дна изученных природных архивов не так много, и исследование озера Погоново может быть важным источником информации для уточнения палеоклиматических характеристик голоцена данной территории.

Так как озеро находится недалеко от археологического памятника, исследования могут быть использованы для определения условий обитания древних людей, получения сведений о динамике природной среды в этом районе.

Исследование колонки озерных отложений проводилось литологическими (определение содержания карбонатных соединений и органического вещества, магнитной восприимчивости и гранулометрического состава) и палеоботаническими (диатомовый анализ) методами.

По своим очертаниям озеро напоминает часть макроизлучины или старого русла бывшего более полноводного водотока. А так как озеро находится в двух километрах от реки Дон, вполне вероятно, что раньше озеро было частью ее русла. Комплексный литологический анализ донных отложений озера Погоново позволил выявить переход от аллювиального к озерному режиму осадконакопления и установить этапы активизации паводков на реке Дон.

Исследование выполнено при поддержке Мегагранта (соглашение № 075-15-2021-599 от 08.06.2021) «Палеоэкологические реконструкции как ключ к пониманию прошлых, текущих и будущих изменений климата и окружающей среды в России» по теме госзадания

AAAA-A19-119021990092-1 (номер договора 0127-2019-0008) «Маркеры природных событий в высокоразрешающих седиментационных палео-архивах».

Палеомоделирование как метод палеогеографических исследований: эксперименты с использованием модели климата INMCM4.8

П. А. Морозова¹, Е. М. Володин², К. В. Ушаков^{3,4}

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29, с. 4,
morozova_polina@mail.ru

²Институт вычислительной математики им. Г. И. Марчука РАН,
119333, г. Москва, ул. Губкина, 8

³Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36

⁴Институт водных проблем РАН, 119333, г. Москва, ул. Губкина, 3

С использованием климатической модели ИВМ РАН — INMCM4.8 [13] была проведена серия экспериментов в рамках проекта по моделированию климатов прошлого PMIP4 [https://pmip4.lsce.ipsl.fr/doku.php/exp_design:index], являющегося подпроектом CMIP6. Были воспроизведены климаты последнего тысячелетия (эксперимент *past1000*, 850–1850 гг.), среднего голоцена (эксперимент *midHolocene*, 6 тыс. л. н.), последнего ледникового максимума (эксперимент *lgm*, 21 тыс. л. н.) и последнего межледникового (эксперимент *lig*, 127 тыс. л. н.). Данные выложены в открытый доступ [<https://esgf-node.llnl.gov/search/cmip6>]. Моделирование климата последнего тысячелетия проводилось в рамках Мегагранта 075-15-2021-599. Оценки результатов моделирования INMCM4.8 и других моделей, принимающих участие в проекте PMIP4 представлены в следующих статьях: для голоцена — в [3]; последнего ледникового максимума (ПЛМ) в [7], последнего межледникового — в [8, 12]. Помимо этого, в рамках проекта DeepMIP был проведен эксперимент по воспроизведению климатического оптимума эоцена (50 млн лет назад), первые результаты анализа можно найти в [6, 5, 10, 11, 14].

Результаты палеоклиматического моделирования были использованы при изучении колебаний уровня Каспийского моря и стока Волги в различных климатических условиях [1, 2, 9]. Согласно данным PMIP4, в эпоху ПЛМ и испарение с поверхности Каспия, и сток Волги уменьшились по сравнению с преиндустриальными условиями. Для Каспия межмодельный разброс оценок составил от –2 до –20%, а для Волги — от –5 до –50%. Также для оценки изменения испарения с поверхности Каспия и объемов речного стока, необходимого для поддержания равновесного

состояния озера при различных уровнях Каспия в условиях позднего плейстоцена и голоцена, была использована региональная конфигурация океанической модели INMIO-CICE. В качестве атмосферных граничных условий в модели INMIO-CICE были использованы результаты палеоэкспериментов климатической модели INMCM по воспроизведению климата ПЛМ, среднего голоцена и климата преиндустриального периода. Были получены кривые испарения и равновесного стока для уровней от -85 до +50 м над ур. м. В работе [9] также оценивался сток Волги по данным экспериментов с гидрологической моделью ECOMAG. Результаты моделирования RMP4 были использованы в качестве начальных в гидрологической модели. Использование гидрологической модели привело к увеличению стока в ПЛМ по сравнению с результатами глобальных моделей. Полученные результаты не позволяют сделать однозначных выводов о регрессивном или трансгрессивном положении Каспия в период ПЛМ, однако исключают глубокую регрессию Каспия, поскольку объема речного стока с территории водосбора Каспия будет достаточно для поддержания уровня озера не ниже отметки -45 м над ур. м. даже в случае оценки уровня Каспия с использованием результатов модели, продемонстрировавшей максимальное уменьшение стока Волги. Работы по оценке компонентов водного баланса Каспия в условиях позднего плейстоцена и голоцена выполнены при поддержке гранта РФФИ 19-17-00215.

Также результаты палеоклиматического моделирования климата последнего тысячелетия сравнивались с результатами реконструкции летней температуры по дендроклиматическим данным для Европейской территории России (ЕТР). Был проанализирован отклик на крупные вулканические извержения. В частности установлено, что для северных областей ЕТР модели и реконструкции показали близкие амплитуды колебаний. Также можно говорить о достаточно высокой чувствительности дендрореконструкции для данной территории: большинству крупных извержений соответствуют отрицательные температурные аномалии. Также выполнено сравнение гидроклиматических характеристик на ЕТР по данным моделирования и реконструкций. Данная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 21-17-00264.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кислов А. В., Морозова П. А. Вариации уровня Каспийского моря в различных климатических условиях по данным моделирования в рамках проекта CMIP6 // Водные ресурсы. 2021. Т. 48, № 6. С. 622–632.
2. Морозова П. А., Ушаков К. В., Семенов В. А., Володин Е. М. Водный баланс Каспийского моря в эпоху последнего ледникового максимума по данным экспериментов с математическими моделями // Водные ресурсы. 2021. Т. 48, № 6. С. 601–608.
3. Brierley C. M., Zhao A., Harrison S. P., Braconnot P., Williams C. J. R., Thornalley D. J. R., Shi X., Peterschmitt J.-Y., Ohgaito R., Kaufman D. S., Kageyama M., Hargreaves J. C., Erb M. P., Emile-Geay J., D'Agostino R., Chandan D., Carré M., Bartlein P. J., Zheng W., Zhang Z., Zhang Q., Yang H., Volodin E. M., Tomas R. A., Routson C., Peltier W. R., Otto-Bliesner B., Morozova P. A., McKay N. P., Lohmann G., Legrande A. N., Guo C., Cao J., Brady E., Annan J. D., Abe-Ouchi A. Large-scale features and evaluation of the PMIP4-CMIP6 midHolocene simulations // *Clim. Past*. 2020. 16. P. 1847–1872.
4. Brown J. R., Brierley C. M., An S.-I., Guarino M.-V., Stevenson S., Williams C. J. R., Zhang Q., Zhao A., Abe-Ouchi A., Braconnot P., Brady E. C., Chandan D., D'Agostino R., Guo C., LeGrande A. N., Lohmann G., Morozova P. A., Ohgaito R., O'ishi R., Otto-Bliesner B. L., Peltier W. R., Shi X., Sime L., Volodin E. M., Zhang Z., Zheng W. Comparison of past and future simulations of ENSO in CMIP5/PMIP3 and CMIP6/PMIP4 models // *Clim. Past*. 2020. 16. P. 1777–1805.
5. Cramwinckel M. J., Burls N. J., Fahad A. A., Knapp S., West C. K., Reichgelt T., Greenwood D. R., Chan W.-L., Donnadieu Ya., Hutchinson D. K., de Boer A. M., Ladant J.-B., Morozova P., Niezgodzki I., Knorr G., Steinig S., Zhang Z., Zhu J., Feng R., Lunt D. J., Abe-Ouchi A., Inglis G. N. Global and zonal-mean hydrological response to early Eocene warmth // *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 2023. 38. 3.
6. Goudsmit-Harzevoort B., Lansu A., Baatsen M. L. G., von der Heydt A. S., de Winter N. J., Zhang Y., Abe-Ouchi A., de Boer A. M., Chan W.-L., Donnadieu Ya., Hutchinson D. K., Knorr G., Ladant J.-B., Morozova P., Niezgodzki I., Steinig S., Tripathi A., Zhang Z., Zhu J., Ziegler M. The Relationship Between the Global Mean Deep-Sea and Surface Temperature

- During the Early Eocene // *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 2023. 38. 3.
7. Kageyama M., Harrison S. P., Kapsch M.-L., Lofverstrom M., Lora J. M., Mikolajewicz U., Sherriff-Tadano S., Vadsaria T., Abe-Ouchi A., Bouttes N., Chandan D., Gregoire L. J., Ivanovic R. F., Izumi K., LeGrande A. N., Lhardy F., Lohmann G., Morozova P. A., Ohgaito R., Paul A., Peltier W. R., Poulsen C. J., Quiquet A., Roche D. M., Shi X., Tierney J. E., Valdes P. J., Volodin E., and Zhu J. The PMIP4 Last Glacial Maximum experiments: preliminary results and comparison with the PMIP3 simulations // *Clim. Past*. 2021. 17. P. 1065–1089.
 8. Kageyama M., Sime L. C., Sicard M., Guarino M.-V., de Vernal A., Stein R., Schroeder D., Malmierca-Vallet I., Abe-Ouchi A., Bitz C., Braconnot P., Brady E. C., Cao J., Chamberlain M. A., Feltham D., Guo C., LeGrande A. N., Lohmann G., Meissner K. J., Menviel L., Morozova P., Nisancioglu K. H., Otto-Bliesner B. L., O'ishi R., Ramos Buarque S., Salas y Melia D., Sherriff-Tadano S., Stroeve J., Shi X., Sun B., Tomas R. A., Volodin E., Yeung N. K. H., Zhang Q., Zhang Z., Zheng W., Ziehn T. A multi-model CMIP6-PMIP4 study of Arctic sea ice at 127 ka: sea ice data compilation and model differences // *Clim. Past*. 2021. 17. P. 37–62.
 9. Kalugin A., Morozova P. Hydrometeorological Conditions of the Volga Flow Generation into the Caspian Sea during the Last Glacial Maximum // *Climate*. 2023. 11(2). 36.
 10. Lunt D. J., Bragg F., Chan W.-L., Hutchinson D. K., Ladant J.-B., Morozova P., Niezgodzki I., Steinig S., Zhang Z., Zhu J., Abe-Ouchi A., Anagnostou E., de Boer A. M., Coxall H. K., Donnadieu Y., Foster G., Inglis G. N., Knorr G., Langebroek P. M., Lear C. H., Lohmann G., Poulsen C. J., Sepulchre P., Tierney J. E., Valdes P. J., Volodin E. M., Dunkley Jones T., Hollis C. J., Huber M., Otto-Bliesner B. L.: DeepMIP: model intercomparison of early Eocene climatic optimum (EECO) large-scale climate features and comparison with proxy data // *Clim. Past*. 2021. 17. P. 203–227.
 11. Niezgodzki I., Knorr G., Lohmann G., Lunt D. J., Poulsen C. J., Steinig S., Zhu J., de Boer A., Chan W.-L., Donnadieu Ya., Hutchinson D. K., Ladant J.-B., Morozova P. Simulation of Arctic sea ice within the DeePMIP Eocene ensemble: thresholds, seasonality and factors controlling sea ice development // *Global and Planetary Change*. 2022. 214. P. 103848.
 12. Otto-Bliesner B. L., Brady E. C., Zhao A., Brierley C. M., Axford Y., Capron E., Govin A., Hoffman J. S., Isaacs E., Kageyama M., Scussolini P.,

- Tzedakis P. C., Williams C. J. R., Wolff E., Abe-Ouchi A., Braconnot P., Ramos Buarque S., Cao J., de Vernal A., Guarino M. V., Guo C., LeGrande A. N., Lohmann G., Meissner K. J., Menviel L., Morozova P. A., Nisancioglu K. H., O'ishi R., Salas y Mélia D., Shi X., Sicard M., Sime L., Stanek C., Tomas R., Volodin E., Yeung N. K. H., Zhang Q., Zhang Z., Zheng W. Large-scale features of Last Interglacial climate: results from evaluating the lig127k simulations for the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)–Paleoclimate Modeling Intercomparison Project (PMIP4) // *Clim. Past.* 2021. 17. P. 63–94.
13. Volodin E. M., Mortikov E. V., Kostykin S. V., Galin V. Y., Lykossov V. N., Gritsun A. S., Diansky N. A., Gusev A. V., Iakovlev N. G., Shestakova A. A., Emelina S. V. Simulation of the modern climate using the INMCM48 climate model // *Russ. J. Numer. Anal. M.* 2018. Vol. 33. P. 367–374.
14. Williams C. J. R., Lunt D. J., Salzmann U., Reichgelt T., Inglis G. N., Greenwood D. R., Chan W.-L., Abe-Ouchi A., Donnadieu Ya., Hutchinson D. K., Boer A. M., Ladant J.-B., Morozova P. A., Niezgodzki I., Knorr G., Steinig S., Zhang Z., Zhu J., Huber M., Otto-Bliesner B. L. African hydroclimate during the Early Eocene from the DeepMIP simulations // *Paleoceanography and Paleoclimatology.* 2022. 37. 5.

Особенности режима экстремальных осадков и их связь с наводнениями на Западном Алтае

Е. А. Паутова¹, Ю. Н. Курочкин¹

¹Институт наук о Земле, СПбГУ,

Санкт-Петербург, 10-я линия Васильевского острова, 31-33,

st088105@student.spbu.ru, y.kurochkin@spbu.ru

Целью работы является изучение особенностей режима осадков на территории предгорий Западного Алтая и выявление возможных взаимосвязей их экстремальных показателей с наводнениями различного масштаба в данном регионе.

Таблица 1. Используемые в работе метеостанции Западного Алтая.

№ м/с	Наименование станции	Высота (м)	Координаты
1	Змеиногорск	356	51° 09' с. ш., 82° 12' в. д.
2	Солонешное	411	51° 40' с. ш., 84° 19' в. д.
3	Кызыл-Озек	324	51° 53' с. ш., 86° 00' в. д.

Динамика фоновых осадков на Западном Алтае.

К фоновым показателям относятся в основном месячные и годовые суммы осадков [1]. Данный анализ дает представление о динамике осадков в предгорьях Западного Алтая в общем. Для определения изменений средних показателей фоновых осадков были выбраны следующие периоды: с 1961 по 1990 гг. — период «климатической нормы» и с 1991 по 2021 гг. — современный период.

Анализ режима фоновых осадков в Змеиногорске позволяет сделать следующие основные выводы: а) в годовом исчислении отмечается небольшая прибавка в 26 мм (3%); б) основной сезонный прирост регистрируется зимой со 150 мм до 186 мм, т. е. 36 мм (24%);

В Солонешном: а) в годовом исчислении значительная прибавка в 46 мм, (8%); б) основной сезонный прирост фиксируется весной со 142 мм до 162 мм, т. е. 20 мм (14%);

В Кызыл-Озёке: а) в годовом исчислении наблюдается небольшое снижение в 29 мм, 4%; б) основной сезонный прирост происходит весной со 165 мм до 183 мм, 18 мм (11%);

Таблица 2. Годовой ход средних месячных значений осадков за современный период и период «климатической нормы» на м/с Змеиногорск, Солонешное и Кызыл-Озёк, мм.

Солонешное	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	год
1991 – 2021 гг. (Т1)	17	22	29	55	78	83	111	73	54	52	41	25	640
1961 – 1990 гг. (Т2)	18	18	22	48	72	76	90	77	56	56	36	25	594
Разность Т1 – Т2	-1	4	7	7	6	7	21	-4	-2	-4	5	0	46
Змеиногорск	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	год
1991 – 2021 гг. (Т1)	57	52	57	50	58	68	86	55	51	79	83	77	773
1961 – 1990 гг. (Т2)	44	45	51	55	69	59	68	63	52	95	85	61	747
Разность Т1 – Т2	13	7	6	-5	-11	9	18	-8	-1	-16	-2	16	26
Кызыл-Озек	янв	фев	мар	апр	май	июн	июл	авг	сен	окт	ноя	дек	год
1991 – 2021 гг. (Т1)	22	27	34	63	86	94	112	92	72	58	47	34	742
1961 – 1990 гг. (Т2)	25	26	32	53	80	102	107	109	77	69	48	41	771
Разность Т1 – Т2	-3	1	2	10	6	-8	5	-17	-5	-11	-1	-7	-29

В целом для южной и центральной части Западного Алтая можно констатировать небольшое увеличение годовых сумм осадков в современный период, причем в северной части наблюдается их слабое понижение. Таким образом, в динамике фоновых осадков значительных изменений с точки зрения провоцирования наводнений не наблюдается [2]. Поэтому, в дальнейшем особое внимание уделялось аномальным характеристикам этих осадков.

Пространственно-временная статистическая структура аномальных месячных сумм осадков Западного Алтая и их связь с наводнениями.

Для выявления случаев с аномальными месячными осадками была использована схема с определением превышения каждой месячной суммы над средним значением на 1,5 и 2 стандартных отклонения [3]. В расчетах использовались данные по 2 сезонам (весна, лето) и 6 месяцам, как наиболее активным по наличию наводнений или подтоплений.

Заметно преобладание годов с наводнениями именно в современный период на всех метеостанциях. Наиболее существенный рост случаев с аномальным количеством месячных осадков приходится на центральную часть Западного Алтая (м/с Солонешное). Можно констатировать, что прослеживается весома связь между частотой годов с аномальными осадками и годов с наводнениями и эта связь со временем становится более тесной.

«МЕРИДИАН»: Исследования природы и общества в условиях глобальных трансформаций

Таблица 3. Количество случаев превышения САЗ месячных сумм осадков на 1,5 и 2 СКО и годы их регистрации по м/станциям Змеиногорск, Солонешное, Кызыл-Озёк.

Змеиногорск		Кол-во случаев		Годы регистрации	
		1961-1990	1991-2021	1961-1990	1991-2021
март	от 1,5 до 2 СКО	0	2	-	2002, 2013
	более 2 СКО	2	2	1968, 1972	2018, 2021
апрель	от 1,5 до 2 СКО	3	0	1972, 1975, 1987	-
	более 2 СКО	0	3	-	1998, 2001, 2005
май	от 1,5 до 2 СКО	2	0	1966, 1989	-
	более 2 СКО	1	2	1983	2007, 2018
июнь	от 1,5 до 2 СКО	1	3	1978	2000, 2002, 2021
	более 2 СКО	2	1	1966, 1980	2016
июль	от 1,5 до 2 СКО	1	3	1990	2001, 2002, 2016
	более 2 СКО	0	1	-	1995
август	от 1,5 до 2 СКО	1	0	1967	-
	более 2 СКО	2	2	1965, 1988	1992, 1994
Всего за 6 месяцев		15	19		
Из них более 2 СКО		7	11		
Солонешное		Кол-во случаев		Годы регистрации	
		1961-1990	1991-2021	1961-1990	1991-2021
март	от 1,5 до 2 СКО	0	0	-	-
	более 2 СКО	1	3	1968	2002, 2018, 2021
апрель	от 1,5 до 2 СКО	0	3	-	1998, 2004, 2016
	более 2 СКО	0	2	-	2005, 2006
май	от 1,5 до 2 СКО	1	2	1973	1995, 2013
	более 2 СКО	1	2	1970	2007, 2014
июнь	от 1,5 до 2 СКО	0	0	-	-
	более 2 СКО	1	1	1961	2012
июль	от 1,5 до 2 СКО	1	0	1990	-
	более 2 СКО	0	3	-	1996, 2002, 2016
август	от 1,5 до 2 СКО	3	0	1966, 1967, 1987	-
	более 2 СКО	1	1	1990	2013
Всего за 6 месяцев		9	17		
Из них более 2 СКО		4	12		
Кызыл-Озёк		Кол-во случаев		Годы регистрации	
		1961-1990	1991-2021	1961-1990	1991-2021
март	от 1,5 до 2 СКО	1	1	1974	2002
	более 2 СКО	2	1	1964, 1968	2018
апрель	от 1,5 до 2 СКО	1	0	1970	-
	более 2 СКО	1	4	1975	2004, 2005, 2006, 2016
май	от 1,5 до 2 СКО	1	0	1973	-
	более 2 СКО	0	2	-	2007, 2014
июнь	от 1,5 до 2 СКО	3	0	1961, 1974, 1984	-
	более 2 СКО	1	1	1985	2002
июль	от 1,5 до 2 СКО	1	2	1988	2010, 2014
	более 2 СКО	1	1	1978	2001
август	от 1,5 до 2 СКО	1	1	1972	2013
	более 2 СКО	4	0	1967, 1976, 1985, 1990	-
Всего за 6 месяцев		17	13		
Из них более 2 СКО		9	9		

Жирным шрифтом выделены годы с зарегистрированными в данной местности наводнениями или подтоплениями разного масштаба и характера.

Пространственно-временная статистическая структура экстремальных по интенсивности осадков.

Для выявления временной динамики **экстремальных по интенсивности** показателей осадков, достаточно часто приводящих к нежелательным гидрологическим процессам, была определена абсолютная частота их проявлений по следующим границам: **1-суточные более 30 мм, 2-суточные более 50 мм и 5-суточные более 100 мм** за те же два 30-летних периода. Данные границы в документах Росгидромета определяются как границы наступления ОЯП (опасного явления погоды) для горной местности [4]. Результаты расчетов приводятся в таблице 4.

Таблица 4. Обобщенное количество случаев превышения границ экстремальных осадков и их разности за 30-летние периоды на Западном Алтае.

1-суточные максимумы (мм)				2-суточные максимумы (мм)				5-суточные максимумы (мм)			
	1961–1990	1991–2021	Раз-ть		1961–1990	1991–2021	Раз-ть		1961–1990	1991–2021	Раз-ть
Граница	Змеиногорск			Граница	Змеиногорск			Граница	Змеиногорск		
≥ 30 мм	20	25	5	≥ 50 мм	10	14	4	≥ 100 мм	0	1	1
	Солонешное				Солонешное				Солонешное		
≥ 30 мм	20	26	6	≥ 50 мм	6	12	6	≥ 100 мм	1	4	3
	Кызыл-Озёк				Кызыл-Озёк				Кызыл-Озёк		
≥ 30 мм	24	23	–1	≥ 50 мм	9	13	4	≥ 100 мм	2	3	1

Из таблицы видно, что наибольшие изменения в режиме интенсивности осадков присущи центральной части Западного Алтая (м/с Солонешное). Поэтому, для проведения сравнительного анализа скоростей изменения средней интенсивности осадков разных градаций были рассчитаны и построены совмещенные графики их линейных трендов с экстраполяцией на 2035 год за периоды 1961–2021 и 1991–2021 годы именно для **м/с Солонешное** (рис. 1, 2).

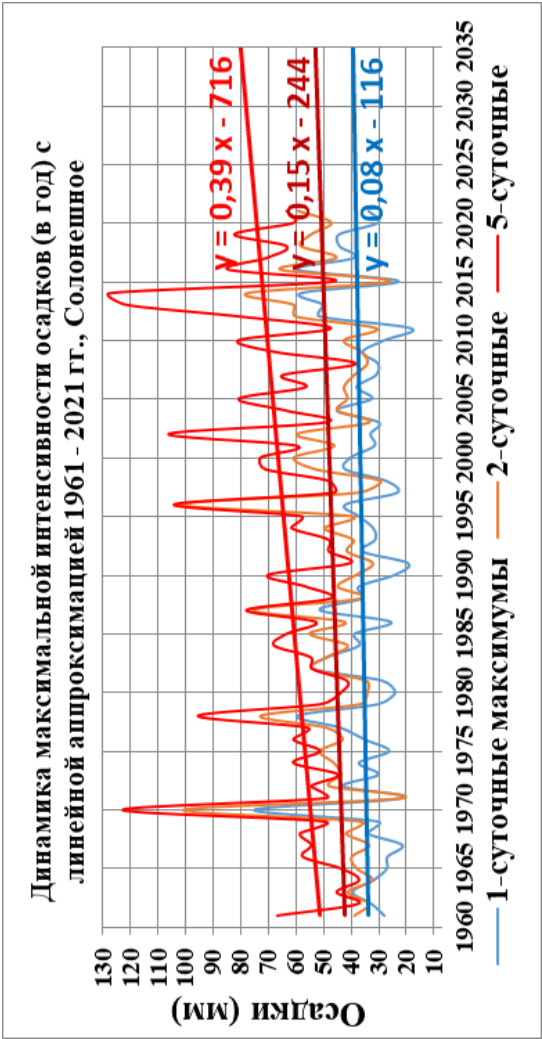


Рисунок 1. Временная динамика максимальной интенсивности осадков (в год) с линейной аппроксимацией за период с 1961 по 2021 гг. до 2035 года, м/с Солонешное.

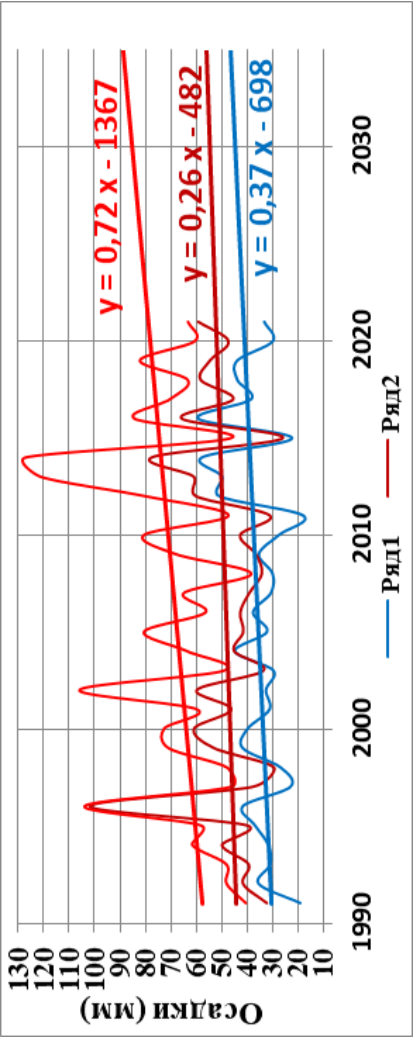


Рисунок 2. Временная динамика максимальной интенсивности осадков (в год) с линейной аппроксимацией за период с 1991 по 2021 гг. до2035 года, м/с Солонешное.

Анализ представленных графиков указывает на несколько важных моментов:

- тенденции современного 30-летнего периода (рис. 2) значительно выше, чем 60-летнего (рис. 1) и для 1-суточных осадков увеличиваются более, чем в 4 раза, становясь статистически значимыми, а для 5-суточных почти в 2 раза;
- с условием сохранения современных тенденций, в 2035 году можно ожидать увеличения интенсивности 1-суточных осадков в среднем до 48 мм, а 5-суточных до 90 мм;

Выявление степени и роли экстремальных осадков в формировании наводнений на примере рек Ануй и Чарыш в 2014 году.

Кривые ИСО (интегральная сумма осадков) строились методом сложения суммы осадков за предыдущие сутки с осадками за последующий день [5]. Также представлены в виде прямых норма осадков и критическая величина расхода, после которой начинается наводнение [6]. Норма осадков рассчитывалась как среднее многолетнее количество осадков за май.

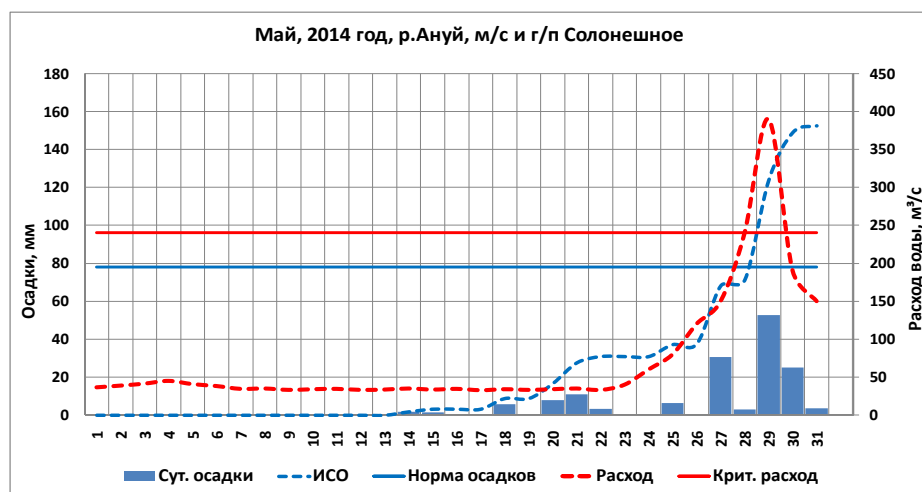


Рисунок 3. Суточный ход осадков и уровней воды в р. Ануй за май 2014 г. на г/п Солонешное.

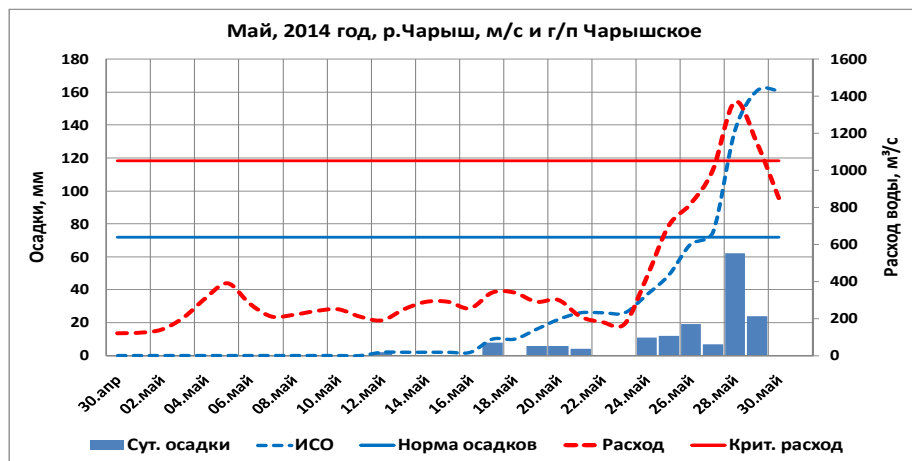


Рисунок 4. Суточный ход осадков и уровней воды в р. Чарыш за май 2014 г. на г/п Чарышское.

Анализ графиков позволяет сделать следующие выводы:

- основную роль в данном случае играют интегральные пентадные (5-суточные) осадки;
- критическая величина расходов воды в обеих реках начинается сразу после превышения интегральной суммы месячных осадков её многолетней нормы;

Резюмируя, можно выделить главные моменты во взаимосвязях экстремальных осадков и наводнений на Западном Алтае:

- осадки могут стать причиной наводнений как по отдельности, так и с суммарным эффектом: во-первых, если их количество начинает превышать месячную норму, во-вторых, если осадки выпадали с большой интенсивностью;
- также к подтоплениям и наводнениям приводит наложение волн пентадных осадков, когда в результате первой, менее интенсивной, происходит полное насыщение почв, склонов и долин водой, а при второй волне все выпавшие осадки устремляются в русловые части, что и вызывает подтопление территорий;
- положительный и статистически значимый тренд в динамике экстремальных осадков предупреждает об увеличении частоты и масштаба наводнений в будущем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бузин В. А. Опасные гидрологические явления : Учебное пособие. СПб. : Изд. РГГМУ, 2008. 228 с.
2. Кичигина Н. В. Наводнения Сибири: географический и статистический анализ за период климатических изменений // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2021. Т. 66, Вып. 1. С. 41–61.
3. Федоровский А. С., Бортин Н. Н, Горчаков А. М., Милаев В. М. Ливневые дожди как фактор наводнений в Приморском крае // Водное хозяйство России. 2019. № 4. С. 144–168.
4. Перечень и критерии опасных метеорологических явлений / Гидрометцентр РФ. URL: <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/RHM/nast-KPP-2019.pdf> (дата обращения: 20.03.2023).
5. Myhre G., Alterskjær K., Stjern C. W. [et al.]. Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming // Sci Rep. 2019. 9. 16063. P. 132–137.
6. Паспорт климатической безопасности Республики Алтай : Утвержден Распоряжением Правительства Республики Алтай от 01 декабря 2022 года № 874-рГ. Горно-Алтайск, 2022. 165 с.

Получение характеристик лесного покрова на уровне отдельных деревьев по фотограмметрическим облакам точек

О. Г. Петров¹

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», 109028, Москва, Покровский бульвар, д., 11,
ogpetrov@edu.hse.ru

Для рационального и эффективного управления лесами, а также обеспечения их экологического равновесия, требуется детальное понимание состояния лесного покрова и доступных ресурсов. Классические методы сбора такой информации, включая методы пробных площадей, требуют значительных финансовых затрат для проведения полевых исследований и сталкиваются с проблемами субъективности при сборе, анализе и интерпретации данных. Методы дистанционного зондирования лесов представляют собой подходящий инструмент, позволяющий избежать данных ограничений. В частности, цифровая аэрофотограмметрия, вместе с лазерным воздушным сканированием, является одной из наиболее продвинутых технологий в этой области [1].

Повышенная доступность инструментов для создания трехмерных облаков точек, получаемых данными методами, вызвало появление множества математических и геометрических алгоритмов, а также методов машинного и глубокого обучения, включая способы получения информации об отдельных объектах, в том числе идентификации отдельных деревьев на основе облаков точек лесов [2, 3]. Результатом работы этих алгоритмов являются детализированные характеристики древостоя, такие как высоты, диаметр стволов и прочее. Однако многие из этих методов были разработаны для данных, получаемых воздушным лазерным сканированием, обеспечивающим получение большего количества информации под сомкнутым пологом леса и имеющим более высокую результирующую плотность и количество точек, чем фотограмметрические методы [4]. Сопоставимая эффективность достигается применением цифровой аэрофотограмметрии при использовании прогнозных площадных моделей характеристик крупных лесных насаждений. Основной проблемой применения цифровой аэрофотограмметрии для инвентаризации лесов методом идентификации отдельных деревьев является отсутствие стандартизированных методов сбора и обработки данных [1]. Несмотря на это, применение цифровой

аэрофотограмметрии с использованием беспилотных летательных аппаратов является значительно менее затратным, чем воздушное лазерное сканирование [5].

В представленной работе анализируется применение фотограмметрических облаков точек для изучения пространственных характеристик отдельных деревьев на участках лесов в Центральной Якутии, подвергавшихся многократному пирогенному воздействию. В ходе работы был проведен полный цикл получения, обработки и анализа фотограмметрических облаков точек, в том числе съемка с БПЛА участков леса с применением сети опорных точек, классификация точек земли, обнаружение верхних точек деревьев, сегментирование плотного облака точек леса на облака точек отдельных деревьев, использование пространственного распределения точек для классификации породного состава ансамблевым методом машинного обучения — метода случайного леса.

В качестве результата были получены следующие характеристики лесов на уровне отдельных деревьев: высоты деревьев, ширина крон, границы крон, породный состав деревьев. Также была проведена наземная полевая верификация данных: были разбиты пробные площади для верификации результатов определения высот деревьев и их породного состава. Помимо этого, была проведена классификация породного состава методом случайного леса на основе мультитременного высокодетального нормализованного вегетационного индекса NDVI, полученных по космическим снимкам, для сравнения с полученными результатами.

Данная работа демонстрирует, что цифровая аэрофотограмметрия является перспективным методом инвентаризации лесов, несмотря на наличие некоторых ограничений в плотности и точности точек, а также в вертикальном охвате под плотным пологом леса. Результат цифровой аэрофотограмметрии — фотограмметрические облака точек, поддаются алгоритмам сегментации леса на уровень отдельных деревьев, при этом учитывая условия съемки и сомкнутость полога леса. Выяснено, что метод нуждается в дополнительном поиске параметров съемки и обработки данных, однако в зависимости от требуемой точности результатов и таксационных показателей, определено, что цифровая аэрофотограмметрия как метод получения характеристик лесов на уровне отдельных деревьев, может дать сопоставимую эффективность с лазерным воздушным сканированием. Также была выделена возможность применения

мультивременных облаков точек для перехода к инвентаризационному анализу во временном масштабе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. White J. C., Coops N. C., Wulder M. A., Vastaranta M., Hilker T., & Tompałski P. Remote Sensing Technologies for Enhancing Forest Inventories: A Review // Canadian Journal of Remote Sensing. 2016. 42(5). P 619–641. DOI 10.1080/07038992.2016.1207484
2. Fei B., Yang W., Chen W., Li Z., Li Y., Ma T., Hu X., & Ma L. Comprehensive Review of Deep Learning-Based 3D Point Cloud Completion Processing and Analysis. 2022. DOI 10.1109/TITS.2022.3195555
3. Li W., Guo Q., Jakubowski M. K., & Kelly M. A New Method for Segmenting Individual Trees from the Lidar Point Cloud // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 2012. 78(1). P. 75–84. DOI 10.14358/PERS.78.1.75
4. Wallace L., Lucieer A., Malenovsky Z., Turner D., & Vopěnka P. Assessment of Forest Structure Using Two UAV Techniques: A Comparison of Airborne Laser Scanning and Structure from Motion (SfM) Point Clouds // Forests. 2016. 7(12). P. 62. DOI 10.3390/f7030062
5. Cao L., Liu H., Fu X., Zhang Z., Shen X., & Ruan H. Comparison of UAV LiDAR and Digital Aerial Photogrammetry Point Clouds for Estimating Forest Structural Attributes in Subtropical Planted Forests // Forests. 2019. 10(2). P. 145. DOI 10.3390/f10020145

Значение небольших торфяников как компонентов культурных ландшафтов прошлого: реконструкция истории освоения и изменения природной среды резервата «Масловская лесная дача» (Одинцовский ГО, Московская область) в позднем голоцене

В. Е. Пименов¹, Е. Г. Ершова¹, И. Е. Пачковская¹, Ю. А. Пастухова¹

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
119234, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, v-pimenov01@inbox.ru

Московская область, включая сам мегаполис Москву, — один из самых густонаселенных регионов России. Несмотря на значительную степень преобразованности ландшафтов, в МО и даже в пределах самой Москвы и ее ближайших пригородов сохранились участки природных комплексов типичных для юга лесной зоны (подзоны подтайги). Многие из них имеют статусы охраняемых территорий, и их ценность как для сохранения биоразнообразия, так и для рекреационных целей, не вызывает сомнений. В их числе и территория Масловского леса, которая была подробно изучена методами археологии и исторической экологии. Здесь были найдены множество сохранившихся памятников средневекового времени (селища, древние дороги, пруды и прочие сооружения), для окрестностей созданы подробные исторические карты [1, 2, 3]. Все это придает резервату не только природоохранный статус, но и историческое значение. Однако, на настоящий момент нет комплексных историко-экологических реконструкций, позволяющих восстановить природную среду и смену типов природопользования прилегающих территорий. Известно, что небольшие лесные болота, в англоязычной литературе «forest hollows», улавливают локальный пылевой сигнал. Благодаря их размеру, отложения накопившиеся в толще болот отражают изменения растительности ближайших окрестностей и лучше подходят для реконструкции локальной истории леса [4].

Для этой цели были выбраны два небольших переходных болота (55.76222° N, 37.06463° E и 55.75814° N, 37.05765° E), расположенные в центральной части резервата. Одно из них (Маслово-2) расположено рядом с селищем XV века «Лагирево», рядом с другим (Маслово-1) древних поселений пока не обнаружено. Основной метод исследования — спорово-пылевой анализ, также были определены потери при прокаливании. Для образцов с глубин 43–53 см (Маслово-1) от поверхности был определен видовой состав кладоцер. Для установления возраста

отложений использовали AMS ^{14}C -датирование в лаборатории (A. E. La-londe AMS Laboratory, University of Ottawa).

Торфонакопление в Маслово-1 началось примерно 4 тыс. кал. л. н., и продолжалось предположительно до 3–3,5 тыс. кал. л. н., его возобновление началось лишь в XVII–XVIII веке, т. е. в период максимального антропогенного преобразования территории. Временной разрыв в торфонакоплении мог быть вызван как пожаром или пересыханием болота, так и изъятием части торфа. Возраст основания торфяной залежи Маслово-2 оценивается в 2,8 тыс. л., здесь торфонакопление шло непрерывно. Таким образом оба болота представляют единую историю изменения растительности на территории Масловской лесной дачи в позднем голоцене. Так, с 4 до 3 тыс. кал. л. н. болота окружал широколиственный лес, преимущественно из дуба, липы и вяза с небольшой примесью березы. С 3 тыс. кал. л. н. до начала сельского хозяйства это был елово-широколиственный лес. Первое появление пыльцы культурных злаков (болото Маслово-2) датировано концом XV века, что может быть связано с бытованием Лагирева поселения (1400–1460 гг. н. э.), обнаруженного непосредственно рядом с Маслово-2. По результатам археологических исследований, в это время оба болота могли быть частично огорожены насыпями, обводнены и использовались как пруды. Поэтому был выполнен кладоцерный анализ для глубин 33–58 см, видовой состав косвенно подтверждает наличие небольших открытых участков воды. А участок леса рядом был расчищен под поле, о чем свидетельствует не только появление пыльцы культурных злаков, но и сокращение доли пыльцы ели и широколиственных деревьев при одновременном росте доли пыльцы березы. В отложениях двух болот был обнаружен угольный горизонт, свидетельствующий о мощном лесном пожаре. Две радиоуглеродные датировки этого слоя при калибровке дают большой интервал, нижняя граница которого приходится на конец XVII века. В это время коренной елово-широколиственный лес был замещен сосняками и березняками, признаки его восстановления были зафиксированы лишь в конце XX века. К настоящему времени доминирующее положение занимают сосняки (редко ельники), с подростом из широколиственных.

Таким образом, территория резервата подвергалась значительному антропогенному преобразованию в течение последних 5–6 веков. Современная растительность сформировалась в результате хозяйственной деятельности на месте елово-широколиственных лесов с

доминированием дуба. Начало этих изменений датируется XV веком, максимум освоения — XVIII. Несмотря на это, Масловский лес, безусловно, нуждаются в дальнейшем изучении и охране как элемент исторического ландшафта и как объект, важный для экологического и исторического просвещения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернов С. З. Комплексные археологические и историко-ландшафтные исследования исторических территорий // Культура средневековой Москвы. Исторические ландшафты. Т. 1. М., 2004.
2. Чернов С. З. Дачи Генерального межевания – портал между Новым временем и Средневековьем (земли Аксиньина и Иславского Звенигородского удела) // Жизнь в Российской империи: Новые источники в области археологии и истории XVIII века : Материалы международной научной конференции / Институт археологии РАН, Институт российской истории РАН. М., 2018. С. 109–110.
3. Чернов С. З., Бойцов И. А. Археологические источники визуальной реконструкции исторического ландшафта восточной части Белого города Москвы (XIV–XVI вв.). Ивановская горка // Историческая информатика. 2020. №. 2. С. 135–178.
4. Overballe-Petersen M. V., Bradshaw R. H. W. The selection of small forest hollows for pollen analysis in boreal and temperate forest regions // *Palynology*. 2011. V. 35, № 1. P. 146–153.

Возможности литологического анализа кернов шнеково-свайного бурения

В. С. Посаженникова^{1,2}, Е. В. Гаранкина^{1,2},

И. Г. Шоркунов¹, А. Ю. Качалов¹

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

²Московский государственный университет,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, vitasposazhennikova@gmail.com

Изучение разрезов является одним из основных источников получения палеогеографической информации. Однако не всегда и везде получается заложить разрез и подробно изучить особенности залегания и текстуры отложений. Зачастую единственная возможность исследовать интересующий палеоархив заключается в бурении. Несмотря на значительное разнообразие буровых установок, предназначенных для геологических работ, лишь малая их часть может удовлетворить потребности учёных, специализирующихся на четвертичном периоде.

Основными проблемами бурения являются малое количество извлекаемого материала и, конечно, его деформации при бурении и извлечении, что сказывается на сохранности текстур, в которых хранится основная информация о генезисе осадка, свойствах обстановок и агентах осадконакопления. Так, в результате наиболее доступного ручного вращательного бурения извлекается сильно деформированный по краям узкий керн. Он позволяет лишь выделить крупные литологические пачки или отдельные контрастные слои [1], а также провести крупноинтервальный сквозной отбор для получения ограниченного количества материала на различные анализы. В результате приходится работать с изначально низким разрешением и получать слабо детализированные реконструкции.

В случае ударных установок возможно отобрать большое количество материала, однако это сопровождается мало контролируемыми деформациями, которые происходят не только по краям керна, но и увеличиваются книзу в результате более длительного ударного воздействия [2, 3, 4]. Также неотъемлемым недостатком ударных установок является прерывистость кернов: в зависимости от размеров установки часть вещества будет утрачиваться каждые десятки или сотни сантиметров [5]. Не стоит недооценивать и значительные траты человеко-часов

на извлечение, упаковку и транспортировку внушительных по своим габаритам кернов.

В геологической разведке часто применяется шнековое бурение — вращательный процесс, в котором используется лопастной долото-резец и происходит удаление из скважины разрушенной породы шнеком, выступающим в роли вертикального винтового транспортёра [3, 4]. Данный метод исключает возможность сплошного отбора осадков и, конечно, изучения литостратиграфических особенностей отложений.

Более универсальной представляется усовершенствованная под нужды литологического анализа малогабаритная шнеково-свайная буровая установка на базе шасси УАЗ. Механизм бурения включает в себя вкручивание в грунт подвижным вращателем бурильной трубы, которая обвита стальной лентой, с постоянной скоростью. При работе с мелкодисперсными рыхлыми грунтами на шнек не устанавливается долото — установка плавно вкручивается в отложения, а при необходимости пройти каменистый грунт возможно использование трехзубого долота для дробления крупных камней. Основным отличием от шнекового бурения, нацеленного на быстрое прохождение рыхлых грунтов, является пропорциональное отношение скорости заворота снаряда по часовой стрелке в горизонтальной плоскости и вертикального расстояния между двумя витками реборды. Таким образом, получается извлечь непрерывный керна на шнеке. Данное бурение позволяет осуществлять чёткий контроль забоя по количеству шнеков в колонне с вычитанием доли шнека над поверхностью.

В результате лента грунта наматывается на стальную трубу между реборд с малыми деформациями на краях витков и непосредственно у осевого штифта, где происходит «расталкивание» грунта и его уплотнение. На один виток, высотой в 6 см, приходится около 300–400 г осадка в зависимости от его гранулометрического состава, что представляется достаточным для аналитических методов с шагом менее 2 см. Деформированные 5–10 мм на границе реборд срезаются, и загрязненная поверхность керна зачищается для дальнейшего подробного литологического описания и фотофиксации [1]. Текстуальный анализ в последующем осуществляется по фотографиям высокого разрешения, так как при снятии грунта с витка и его дальнейшей транспортировке происходят сильные деформации, не характерные для более прочных монолитов, получаемых ударным бурением. Данный процесс требует крайне тщательной

зачистки керна, напоминающей работу с разрезами, и, соответственно, значительного количества человеко-часов. За рабочий день сложно пройти более 25–30 м, однако в отличие от ручного бурения данные отметки не являются предельными для самой установки, способной преодолеть не менее 50 м.

Сравнение одного литостратотипа в разрезе и в шнеково-свайном керне позволяет говорить о том, что при данном типе бурения сохраняется исходная текстура осадков и структуры мелкого порядка почти в неизменном виде. Также ярким примером служит извлечённый керн озёрных пластичных суглинков, в которых были обнаружены микросбросовые текстуры и иные хрупкие деформации, не характерные для вращательного бурения [1]. Это позволяет говорить о расширении получаемой палеогеографической информации для глубинных отложений, например, выполняющих крупные котловины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Valdai Periglacial Field Symposium Guidebook, 27-30 August 2023 [Electronic edition]. Moscow : IG RAS, 2023. 161 p.
2. Черкасов В. И. Области применения и проблемы бурения неглубоких скважин // Разведка и охрана недр. 2014. № 2. С. 24–27.
3. Валигура Н. С. Способы бурения неглубоких скважин // Разведка и охрана недр. 2014. № 2. С. 27–30.
4. Малинина Е. М., Аракчеева С. В. Способы бурения скважин // Вологодские чтения. 2009. № 76. С. 110–111.
5. Garankina E. V., Belyaev V. R., Shorkunov I. G., Shishkina Y. V., Andreev P. V., Sheremetskaya E. D. Lake sedimentation as an agent of postglacial transformation of interfluves and fluvial landscapes of the Borisoglebsk Upland, Central European Russia // Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. 2019. Vol. 381. P. 13–20.

Таксономический состав комаров-звонцов в озерных отложениях разреза Куликово (Калининградская область)

А. В. Пронина¹, Л. С. Сырых¹, Л. Б. Назарова^{1,2},

И. М. Греков¹, О. А. Дружинина¹

¹РГПУ им. А. И. Герцена, 191186, Санкт-Петербург, наб. р. Мойки, 48,
anastasiya.2802@mail.ru

²Казанский (Приволжский) федеральный университет,
420008, Казань, ул. Кремлевская, 18

Субфоссильные сообщества комаров-звонцов — хирономид (*Chironomidae*; *Insecta: Diptera*) являются индикаторами изменений климата и природных условий окружающей среды, поэтому они широко используются при палеоклиматических и палеоэкологических исследованиях [1, 2].

Для реконструкции природно-климатических обстановок на юго-востоке Балтики был исследован разрез Куликово (Калининградская область), вскрывающий отложения одного из палеоводоемов, расположенных на окраине Балтийского ледникового озера в позднеледниковье хирономидного анализа отобранны с разрешением 2 см.

Хирономидный анализ проведен по стандартной методике [4]. Проведена термохимическая обработка проб донных отложений, подготовлены микропрепараты головных капсул хирономид, определен таксономический состав субфоссильных сообществ комаров-звонцов и проведена интерпретация результатов. Таксоны идентифицированы по специализированным определителям [4, 5, 6]. Отбор проб выполнен с использованием микроскопа стереоскопического МСП-1 вариант 22М (ЛОМО). Идентификация таксонов проводилась под микроскопом медицинским МИКМЕД-6 (ЛОМО). Экологическая характеристика таксонов проведена в соответствии с [4, 7, 8, 9].

В исследованном разрезе озерных отложений наблюдается изменение в составе хирономидных сообществ. В нижней части разреза (горизонт 192–180 см от поверхности) отобранны единичные головные капсулы хирономид, а выше по разрезу их количество увеличивается до 54–72 шт. в пробе.

В горизонте 192–180 см представлены полуназемные таксоны *Smittia* — *Parasmittia*, *Metriocnemus eurynotus*-type (рис. 1А) и *Limnophyes* — *Paralimnophyes*. Присутствуют таксоны обитатели лотических (проточ-

ных) экосистем (*Hydrobaenus lugubris*-type). Большая часть обнаруженных таксонов стенотермные холодноводные (*Orthocladius oliveri*-type, *Limnophyes* — *Paralimnophyes*, *Heterotrissocladius grimshawi*-type). Вероятно, нижняя часть отложений сформировались в начальную стадию формирования водоема, когда условия окружающей среды были нестабильны.

На глубинах 180–80 см увеличивается видовое разнообразие хирономид, в частности разнообразие субдоминантных таксонов. В данном горизонте доминирует *Corynocera ambigua*. Ее распространение свидетельствует о повышенной минерализации и прозрачности воды [10, 11]. Количество полуназемных таксонов уменьшается, они сменяются таксонами фитофильными, типичными для мезо- и эвтрофных водоемов. Наиболее распространены таксоны характерные для мелководных пресноводных водоемов *Microtendipes pedellus*-type (рис. 1Б), *Dicrotendipes nervosus*-type, *Paratanytarsus* и пр. Вероятно, в данный период водоем являлся мелководным озером с заросшей прибрежной зоной.

В верхнем горизонте (80–21 см) количество таксонов несколько уменьшается. Доминируют *Microtendipes pedellus*-type, *Chironomus anthracinus*-type, *Corynocera ambigua* (рис. 1В). Доля головных капсул *Corynocera ambigua* нестабильна, изменяется в пределах выделенной зоны, что может свидетельствовать о колебаниях минерализации и изменения трофности водоема. В средней части зоны наблюдается резкий пик *Sergentia coracina*-type и *Zalutshia* type В, которые являются глубоко-водными таксонами. Это может свидетельствовать об изменении уровня воды в палеоводоеме.

В исследованном разрезе озерных отложений четко фиксируется смена таксономического состава хирономид, что свидетельствует о динамике природных условий. Полуназемные таксоны сменяются таксонами, типичными для неглубоких пресноводных озер, изменяется видовое разнообразие хирономид по мере развития экосистемы озера. Дальнейшее исследование хирономидных сообществ позволит сделать более полную характеристику изменения природно-климатических условий в исследуемом регионе.

Благодарности. Исследование проведено при финансовой поддержке РНФ № 22-17-00113 «Критические рубежи и палеоклиматические события позднего плейстоцена и голоцена и их роль в формировании природно-культурных ландшафтов юго-восточной Прибалтики».

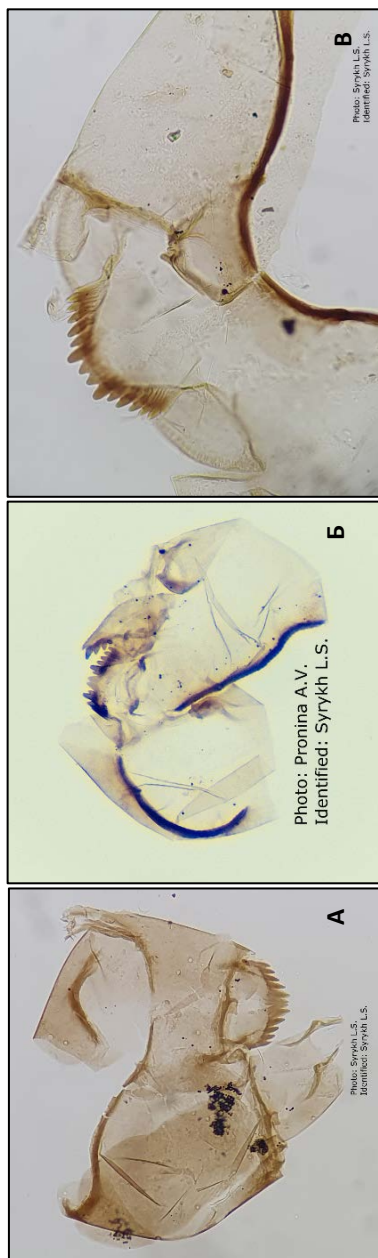


Рисунок 1. А — *Metriocnemeus eugnotus*-type, Б — *Microtendipes pedellus*-type, В — *Corynoseta ambigua*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nazarova L. B., Pestryakova L. A., Ushnitskaya L. A., Hubberten H. W. Chironomids (Diptera: Chironomidae) in lakes of central Yakutia and their indicative potential for paleoclimatic research // *Contemporary Problems of Ecology*. 2008. Vol. 1, No. 3. P. 335–345. DOI 10.1134/s1995425508030089. EDN HUMMNG.
2. Nazarova L., Razjigaeva N. G., Ganzei L. A. [et al.]. The middle to Late Holocene environments on the Iturup Island (Kurils, North Western Pacific) // *Quaternary International*. 2023. Vol. 644–645. P. 5–20. DOI 10.1016/j.quaint.2021.05.003. EDN SLFXPQ.
3. Druzhinina O., Rudinskaya A., Filippova K., Lazukova L., Lavrova N., Zharov A., Skhodnov I., Burko A., van den Berghe K. The Bølling–Allerød Transition in the Eastern Baltic: Environmental Responses to Climate Change // *Biology*. 2023. 12. 821. DOI 10.3390/biology12060821
4. Brooks S. J., Langdon P. G., Heiri O. Using and identifying chironomid larvae in palaeoecology. London : Quaternary Research Association, 2007. 276 p. (QRA Technical Guide ; № 10).
5. Wiederholm T. Chironomidae of the Holarctic Region, Keys and Diagnoses. Part 1—Larvae: *Entomologica Scandinavica*, Supplement 19. 1983. P. 1–457.
6. Макаренченко Е. А., Макаренченко М. А.. Хиროномиды // *Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий / под ред. С. Я. Цалолихина. Т. 4. Высшие насекомые. Двукрылые. Санкт-Петербург : Зоологический институт РАН, 1999. С. 210–295, 670–857.*
7. Moller Pillot H. K. M. Chironomidae Larvae Volume 2 Biology and ecology of the Chironomini. KNNV Publishing, 2009. 270 p.
8. Nazarova L., Herzschuh U., Wetterich S., Kumke T. & Pestjakova L. Chironomid-based inference models for estimating mean July air temperature and water depth from lakes in Yakutia, northeastern Russia // *Journal of Paleolimnology*. 2011. Vol. 45. P. 57–71.
9. Nazarova L., Self A., Brooks S. J., van Hardenbroek M., Herzschuh U., Diekmann B. Northern Russian chironomid-based modern summer temperature data set and inference models // *Global Planetary Change*. 2015. Vol. 134. P. 10–25.

10. Nazarova L., Lüpfer H., Subetto D., Pestryakova L., Diekmann B. Holocene climate conditions in central Yakutia (Eastern Siberia) inferred from sediment composition and fossil chironomids of Lake Temje // *Quaternary International*. 2013. Vol. 290–291. P. 264–274.
11. Nazarova L., Sachse D., Fuchs H. G. E., Dirksen V., Dirksen O., Syrykh L., Razjigaeva N. G., Rach O. and Diekmann B. Holocene evolution of a proglacial lake in southern Kamchatka, Russian Far East // *Boreas*. 2021. 50. P. 1011–1026. DOI 10.1111/bor.12554

Фациальная изменчивость Лужско-Плюсского ландшафта озёрной-ледниковой равнины (Среднее Полужье)

А. А. Рассолова¹, И. В. Казуров¹

¹Российский государственный педагогический университет
им. А. И. Герцена, 191086, Набережная р. Мойки 48, Санкт-Петербург,
naastiar67@icloud.com

Исследование фациальной изменчивости Лужско-Плюсского ландшафта представляет собой важный этап в понимании особенностей природных процессов и формирования ландшафта данного региона. Среднее Полужье является уникальным регионом, характеризующимся разнообразием геологических и геоморфологических особенностей. В данном исследовании наша цель заключалась в изучении природно-территориальных комплексов (фаций) и морфологической структуры долины реки Луги в пределах Лужского ландшафта озёрно-ледниковой равнины.

Фация служит первичной функциональной ячейкой ландшафта, подобно клетке в живом организме. По существу, на фациальном уровне ведется исследование вертикальных связей в ландшафте, а также многих аспектов его динамики. Первичная географическая информация, получаемая на площадках или точках полевых наблюдений, относится именно к фациям. Особенно большое значение фации приобретают как основные объекты стационарных ландшафтных исследований [2].

Исследование проводилось в рамках прохождения полевой предметно-содержательной практики в июне 2023 года на территории геостанции Железо. Представленное исследование включает в себя анализ и интерпретацию данных в виде комплексного профилирования.

Исследуемый регион расположен в Лужском районе Ленинградской области, на левом берегу реки Луги в её среднем течении. Окрестности изучаемой территории можно разделить на две части: водораздельную равнину и долину р. Луги. Климат переходный от континентального к морскому, степень увлажнения больше единицы. Среднегодовая температура около +4 °C [1].

Для изучения природно-территориальных комплексов было выполнено профилирование долины реки Луги при помощи школьного нивелира и компаса. Для дальнейшего изучения ПТК и оформления ландшафтного профиля были заложены геоморфологические и почвенные шурфы, описаны фитоценозы и составлены описания фаций.

Первый геоморфологический элемент вдоль линии профиля заложен на пойме реки Луги, около старицы с прирусловым валом. По линии профиля отсутствует понижение в центральной части поймы, что обычно им не свойственно. Следующий элемент, заложенный вдоль этой линии профиля, располагается на первой надпойменной террасе, которая не сильно выражена в рельефе из-за эрозионной активности находившегося рядом лога, водоток в котором размывает ступень террасы. Выше на данной линии профиля находится вторая надпойменная терраса, которая выражена более четко. Завершающим элементом в рельефе, описываемом в нашем профиле, является водораздельная равнина (рис. 1).

Ландшафтный профиль левого берега реки Луги

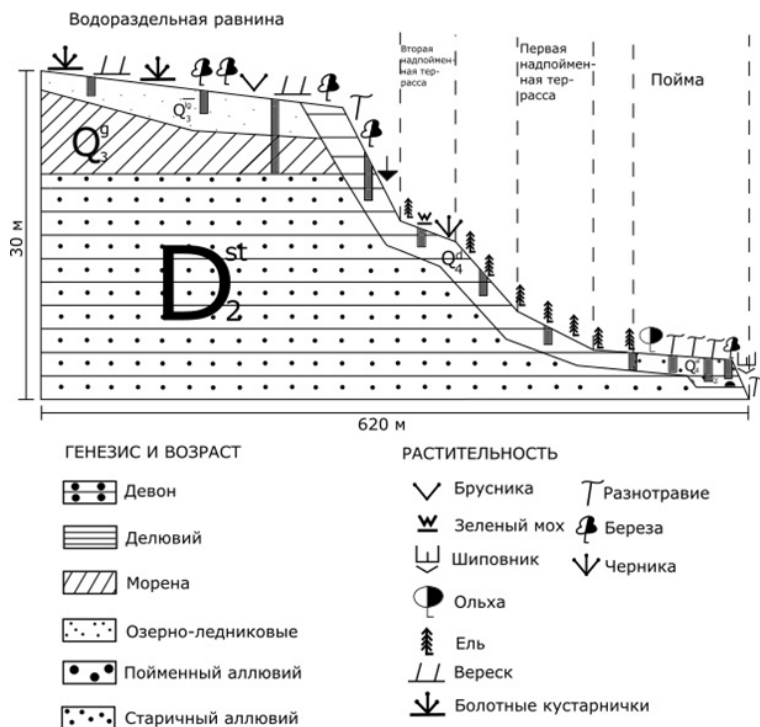


Рисунок 1. Ландшафтный профиль поперёк долины реки Луга.

Коренными отложениями всего исследуемого участка являются девонские пески. Изменения в отложениях, почвах и фитоценозах по линии профиля связаны с изменениями геоморфологических элементов ландшафта. Это подтверждает важное воздействие географических факторов на формирование ландшафта. На формирование почв (точнее, на типы и характер почвенных образований) важное воздействие оказывает растительный покров.

Анализ пойменных террас, склонов и водораздельной равнины показал разнообразие отложений, которые слагают эти геоморфологические элементы. Среди них старичный и пойменный аллювий, делювий и озерно-ледниковые отложения, подстилаемые мореной. Каждый из 12 шурфов, заложенных на разных геоморфологических элементах профиля, представляет разнообразные фации:

1. Группы фаций поймы (прируслового вала, центральной и притеррасной части).

Фации представлены разнотравно-злаковыми сообществами, которые сформировались на различных типах аллювиальных почв. В притеррасной части происходит переход от поймы к склону и появляется комплекс сложного ельника на аллювиально-делювиальных почвах.

2. Группа фаций склона и надпойменных террас.

Фации ниже второй надпойменной террасы состоят из сообществ сложного ельника с широколиственным, сформировавшихся на транзитно-аккумулятивных почвах. Фации от второй надпойменной террасы до водораздельной равнины представлены сложным зеленомошным ельником и образовавшимся на его месте березняком на дерново-подзолистых транзитно-аккумулятивных почвах.

3. Группа фаций на водораздельной равнине (коренной борт и верховое болото).

Фации водораздельной равнины в основном представлены березняком бруснично-вересковым на различных альфегумусовых подзолах. На верховом болоте древесная растительность в виде угнетенных подростов сосны уступает место кустарничковому ярусу, представленному пушице-багульниково-вересковым сообществом.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что фации территориально совпадают с микрорельефом и нанорельефом данной ландшафтной области и закономерно сменяются по линии заложенного профиля. Это свидетельствует о тесной взаимосвязи рельефа и ландшафтных фаций в долине реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кошелева Е. А., Греков И. М. Комплексное ландшафтоведение. Санкт-Петербург : Издательство РГПУ им. Герцена, 2022. 100 с.
2. Исаченко А. Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование : Учеб. пособие. М. : Высш. шк., 1991. 366 с.

Реконструкция палеоэкологических условий озера Плещеева в позднем голоцене

А. И. Рудинская¹, Е. А. Константинов¹, Л. Гедминиене²

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
anna.rudinskaya@igras.ru, ekonstantinov@yandex.ru

²Национальный исследовательский центр Литовской академии наук,
302470603, Вильнюс, Литва, ул. Академическая, LT-08412,
laura.gedminiene@gamtc.lt

Озерные отложения — один из наиболее подробных источников информации об истории ландшафтов и климата в континентальных областях Земли, особенно для последних тысяч и десятков тысяч лет. Для центральной части Восточно-Европейской равнины информативным седиментационным палеоархивом могут служить отложения озера Плещеева, расположенного в краевой зоне московского оледенения. Современные представления об истории Плещеева озера базируются в основном на материалах геолого-съёмочных работ 50–80-х гг. XX века и результатах отдельных исследований в последние десятилетия — в частности, благодаря сейсмопрофилированию и буровым работам, были получены более детальные характеристики подводного рельефа и донных отложений [1], было проанализировано распределение магнитных минералов и органического вещества в донных отложениях озера для реконструкции реакции водной экосистемы на антропогенное освоение [2], выполнен диатомовый анализ для колонки на вторую половину голоцена [3].

Тем не менее, данных о колебаниях уровня озера, изменении его трофности, темпах осадконакопления, ритмах эрозии на водосборе в голоцене сравнительно мало. Кроме того, описанные ранее характеристики донных отложений были получены для разных колонок с разным шагом, что существенно затрудняет их сопоставление. Для решения этой проблемы нами было проведено комплексное изучение донных отложений озера Плещеева. Опорной для палеоэкологических реконструкций стала колонка донных отложений длиной 330 см, полученная при бурении в центральной осевой ложбине на дне озера. Глубина этой ложбины в точке бурения достигает 24 м, буровые работы проводились при помощи бура Несье. Для этого керна было выполнено радиоуглеродное датирование, гранулометрический анализ, определение потерь при

прокаливании, измерения магнитной восприимчивости, анализ элементного состава, анализ микроугольков и спорово-пыльцевой и диатомовый анализы.

Гранулометрический анализ выполнялся лазерно-дифрактометрическим методом на анализаторе размеров частиц Malvern Mastersizer 3000. Анализу подвергалась только силикатная часть осадка, как наиболее устойчивая к диагенезу. Подготовка проб к анализу включала в себя последовательную обработку материала 20% раствором перекиси водорода (с целью удаления органического вещества), 10% раствором соляной кислоты (с целью удаления карбонатов) и 4% раствором пиродифосфата натрия (для диспергирования глинистых агрегатов). После обработки реактивами материал пипеткой переносился в жидкостную кювету блока диспергирования анализатора. В кювете материал на протяжении 100 секунд испытывал воздействию ультразвука мощностью 40 Вт и интенсивно перемешивался специальной вертушкой на скорости 2400 об/мин. После отключения ультразвука производилось 10 повторных измерений, результаты которых усреднялись в приложении Mastersizer v.3.62. Вычисление распределения частиц по размерным фракциям выполнялось на основе дифракционной модели Фраунгофера. Потери при прокаливании были рассчитаны после прокаливания материала в муфельной печи при трех температурах (105 °С (определяется сухой вес), 550 °С и 950 °С) и взвешивании на электронных весах после каждого этапа прокаливания [4]. Удельная магнитная восприимчивость была измерена на приборе ZHstruments SM 150 L. Анализ элементного состава проводился с помощью оборудования EDXRF Spectro Xepos [5], было определено содержание 33 элементов. Препараты для диатомового анализа были приготовлены по стандартной методике [6] для интервала 2 см с шагом в 10 см. В каждом препарате была определена видовая принадлежность более 1000 створок диатомей, среди которых были экологические группы по местообитанию (планктонные, обрастатели и донные диатомеи) и в зависимости от трофности водоема (группы видов, предпочитающих олиготрофные, мезотрофные и эвтрофные водоемы и группа диатомовых водорослей, представители которой индифферентны к трофическому статусу местообитания). Спорово-пыльцевой анализ проводился по стандартной методике [7] с шагом 10 см. Подсчет микроугольков производился в препаратах для спорово-пыльцевого анализа. В лаборатории Национального исследова-

тельского центра Литвы было выполнено радиоуглеродное датирование жидкостно-сцинтилляционным методом 7 образцов из колонки.

Вскрытые при бурении отложения осевой ложбины отложения, судя по модели возраст-глубина, накапливалась с 3500 л. н. до 1200 л. н. Отложения в осевой ложбине представлены органо-минеральным илом с содержанием органического вещества от 18 до 30%. В гранулометрическом составе преобладает глинисто-алевритовая фракция, максимальное содержание которой (около 90%) наблюдается на глубинах 120–70 см (накапливались 2200–1900 л. н.); на глубинах 330–140 (3500–2500 л. н.) и 70–0 см (1900–1200 л. н.). Относительно высокие значения магнитной восприимчивости до $10 \text{ м}^3 / (\text{кг} \times 10^{-8})$ характерны для нижнего интервала керна 330–300 см (3500–3400 л. н.), резкий рост значений этого показателя до $10\text{--}15 \text{ м}^3 / (\text{кг} \times 10^{-8})$ наблюдается на в верхней части колонки на глубинах 100–0 см (2050–1200 л. н.).

Донные отложения осевой ложбины на глубинах 330–140 см керна (3500–2500 л. н.) характеризуются стабильным элементным составом. На глубинах 140–80 см (2500–2000 л. н.) отмечается уменьшение соотношения Ca/Ti , Ca/Mg и увеличение содержания органического вещества до 25–30% и увеличение содержания серы. На глубинах 80–0 см (2000–1200 л. н.) отмечается резкое снижение доли органического вещества до 15–20%.

В спорово-пыльцевых спектрах на глубине колонки 330–80 см (3500–2000 л. н.) доминирует пыльца рода *Picea*. На глубинах 80–0 см (2000–1200 л. н.) отмечается увеличение содержания пыльцы березы и злаковых (в т. ч. сельскохозяйственных культур), что может свидетельствовать об антропогенном освоении территории — сведении лесов под пашни; на это также указывает рост содержания почвенных грибов в этом глубинном интервале. Содержание микроугольков на глубинах 330–80 см (3500–2000 л. н.) колеблется в пределах от 3 до 10%, в верхней части колонки 80–0 см (2000–1200 л. н.) оно возрастает до 20–26%.

На глубинах 335–145 см керна (3500–2700 л. н.) среди диатомовых ассоциаций доминируют пресноводные эвтрофные планктонные виды, предпочитающие слабокислые слабощелочные условия обитания и индифферентные к движению воды. По-видимому, на этом этапе озеро Плещеево характеризовалось глубоководными эвтрофными условиями.

На глубинах 145–100 см керна (2700–2050 л. н.) доля планктонных видов уменьшается до 50%. В этой диатомовой зоне до 20% возрастает

доля бентосных видов, появляются виды, предпочитающие слабокислые воды умеренной температуры. Доля видов-обрастателей возрастает до 30%. Диатомовые ассоциации позволяют предполагать, на этом этапе озере Плещееве произошло понижение уровня воды, в связи с чем в придонных слоях воды стало хватать света для фотосинтеза, что привело к увеличению доли донных диатомей и обрастателей. Увеличение доли мезотрофных диатомей до 50% при уменьшении доли эвтрофных видов может указывать на некоторое снижения трофности озера на этом этапе развития.

На глубинах 100–0 см керна (2050–1200 л. н.) отмечается увеличение планктонных эвтрофных диатомей, что может свидетельствовать об увеличении глубины водоема и о росте степени его эвтрофикации.

Многие палеоэкологические индикаторы (магнитная восприимчивость, состав пыльцы и спор, микроугольки) свидетельствуют о возможной интенсификации антропогенного освоения территории около 2000 л. н. Для получения более точных данных об этом этапе развития озера Плещеева и прилежащих территорий необходим анализ донных отложений, накопившихся за последние 1500 лет — возможно, ввиду слабой консолидации этого осадка, он был утерян во время бурения опорной скважины.

Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ 23-77-10063 «Реконструкция природных событий по высокоразрешающим седиментационным палеоархивам центра Восточно-Европейской равнины за последние 25 тысяч лет».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов П. С. Сейсмоакустика донных отложений как основа палео-геофизических и палеоклиматических реконструкций : дис. ... канд. геол.-мин. наук. Казань : Казанский федеральный университет, 2018. 155 с.
2. Гапеева М. В., Нургалиев Д. К., Сигарева Л. Е., Хайдес И. Исторические тренды биогенных элементов в донных отложениях Плещеева озера в естественных и антропогенных условиях // Экологическая химия. 2005. 14 (4). С. 55–62.
3. Palagushkina O., Frolova L., Zinnatova E. [et al.]. Diatoms of sediments of Plescheevo Lake (Russia) as indicators of environmental changes in

- Holocene // 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconferense. 2018. P. 283–288.
4. Heiri O., Lotter A. F., Lemcke G. Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results // Journal of paleolimnology. 2001. 25. P. 101–110.
 5. Schramm R., Heckel J. Fast analysis of traces and major elements with ED (P) XRF using polarized X-rays: TURBOQUANT // Journal de Physique. 1998. 8(PR5). P. 335–342.
 6. Battarbee R. W., Jones V. J., Flower R. J. Diatoms. // Tracking Environmental Change Using Lake Sediments. Terrestrial, Algal and Siliceous Indicators / J. P. Smol, H. J.-B. Birks and W. M. Last (eds.). 2001. P. 155–202.
 7. Faegri K., Iversen J. Textbook of Pollen Analysis. Copenhagen : Munksgaard, 1975. 389 p.

Влияние антропогенных факторов на дыхание пахотных почв Длительного полевого опыта ТСХА

А. В. Рыжов¹

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
ryzhovav94@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

Попытка мирового сообщества разобраться в причинах глобального изменения климата привела к пониманию, что важнейшая из них — повышение концентрации парниковых газов в атмосфере [1]. Диоксид углерода (CO₂) — ключевой парниковый газ, концентрация которого максимальна. Он интересен тем, что не только поступает в атмосферу от антропогенной деятельности, но и является частью глобального углеродного цикла, роль наземных экосистем в котором продолжает изучаться и переосмысливаться.

Наземные экосистемы могут выступать как в роли стоков углерода (например, за счет его поглощения фитомассой растений), так и источника углерода за счет эмиссии парниковых газов. Поток CO₂ из ландшафтов суши формируется преимущественно за счет дыхания почв [2]. По разным оценкам, глобальная интенсивность почвенного дыхания составляет 68–98 млрд т С / год [3, 4], что в 7–10 раз больше интенсивности антропогенных выбросов CO₂ (всего 10 млрд т С / год) [5]. В то же время, 12% антропогенной эмиссии CO₂ обусловлены сектором сельского и лесного хозяйства ((1.2 ± 0.7) млрд т С / год) [5].

Оценка почвенного дыхания зависит от методических, природных и хозяйственных факторов. К методическим относятся тип измерительных приборов, экспозиция и прочие, влияющие на точность и степень неопределенности получаемых данных (впрочем, они не оказывают прямого воздействия на эмиссию CO₂). Природные факторы включают в себя физико-химические характеристики почв (содержание углерода, азота и других элементов, температура, влажность, pH, гранулометрический состав), их микробиологические характеристики, погодные условия. Именно эти факторы регулируют газообмен почв и атмосферы. Хозяйственные факторы лишь корректируют влияние природных. К ним относят типы выращиваемых культур, вносимых удобрений, агротехнических приемов [6].

Цель данной работы: оценить влияние антропогенных факторов — внесения удобрений, севооборота и обработки почвы — на дыхание пахотных почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования был выбран Длительный полевой опыт ТСХА — уникальный для России экспериментальный полигон на севере Москвы, где на площади в 1,5 га с 1912 года исследуются характеристики урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от типа вносимых удобрений, наличия практики известкования и севооборота, и в то же время на однородной с точки зрения почвенного покрова и рельефа территории [7]. Почва исследуемого участка — дерново-слабоподзолистая, старопашотная, от природы кислая и заплывающая. Строевание профиля — двухчленное: верхний слой до глубины 40–50 см — крупнопылеватый суглинок, а нижний — до глубины 3 м — легкий и средний суглинок с прослойками песка. Следы карбонатов наблюдаются глубже 3 метров. Схема севооборота: черный пар — озимая рожь — картофель — ячмень — клевер — лён [7].

Для проведения измерений были подобраны наиболее значимые для Нечерноземья культуры — озимая рожь, ячмень и картофель, а также черный пар. Из 9 вариантов удобрений были выбраны 3 контрастных: комплексные минеральные удобрения (вариант $N_{100}P_{150}K_{120}$), сочетание минеральных и органических (вариант $N_{100}P_{150}K_{120}$ + навоз 20 т/га) и вариант без удобрений, все с внесением извести (18 т/га раз за ротацию). Таким образом, всего анализировалось 12 делянок (рис. 1). За период с мая по октябрь 2023 г. было проведено 10 регулярных измерений: раз в 2 недели в вегетационный период, и раз в 3 недели вне его.

Избежать влияния методических факторов на эмиссию CO_2 из почвы позволило проведение измерений по единой методике, многократно отработанной в других исследованиях [8, 9]. Применялся метод статических закрытых камер с портативными инфракрасными CO_2 -анализаторами на основе датчика AZ 77535 (AZ Instruments, Тайвань), модифицированными для полевых работ (патент RU 174321 U1). Камеры цилиндрической формы с площадью сечения 90 см² и высотой 20 см из поливинилхлорида устанавливались на каждом анализируемом участке в количестве 5 штук равномерно по площади. Время одного измерения — 3 минуты. Одновременно оценивалась температура воздуха,

Территория Опыта — это пологий склон на северо-западной экспозиции. Участок без удобрений расположен по направлению стока.

Среди сельскохозяйственных культур эмиссия CO_2 уменьшается в ряду Рожь >> Ячмень > Пар > Картофель. Низкие значения эмиссии для картофеля могут объясняться применением гребневания. Эта технология обуславливает более низкую влажность почв, и наибольшую температуру почвы относительно иных культур (табл. 2). Совокупность этих факторов приводит к уменьшению потоков почвенного дыхания.

Таблица 1. Средняя скорость дыхания почв в зависимости от вида возделываемой культуры и вносимых удобрений, г С / (м² × ч).

Культура	Удобрение			Среднее значение
	NPK	NPK + навоз	Без удобрений	
Пар	0,126 ± 0,061	0,176 ± 0,176	0,102 ± 0,105	0,135 ± 0,136
Картофель	0,074 ± 0,039	0,127 ± 0,122	0,077 ± 0,046	0,093 ± 0,081
Рожь	0,194 ± 0,119	0,430 ± 0,292	0,167 ± 0,092	0,264 ± 0,235
Ячмень	0,139 ± 0,104	0,253 ± 0,216	0,129 ± 0,166	0,174 ± 0,179
Среднее значение	0,133 ± 0,107	0,247 ± 0,250	0,118 ± 0,114	0,165 ± 0,183

Примечание: стандартное отклонение приведено после знака ±

Таблица 2. Средние значения температуры и влажности почвы под разными культурами.

Культура	Температура на глубине 5 см, °С	Температура на глубине 10 см, °С	Влажность почв на глубине 0–7 см, % об.
Картофель	25,56 ± 4,09	22,89 ± 3,50	5,88 ± 3,25
Пар	23,01 ± 4,06	20,65 ± 3,84	9,33 ± 4,36
Рожь	22,69 ± 4,60	20,81 ± 3,81	12,76 ± 5,50
Ячмень	23,29 ± 2,89	21,45 ± 2,61	8,96 ± 5,10

В то же время, при сравнении посевов ржи и ячменя заметна значительно большая скорость почвенного дыхания первой, что тоже объясняется физическими характеристиками почвы под этой культурой. С одной стороны, рожь, в отличие от ячменя, культура со значительно большей высотой стеблей, в связи с чем почва под нею оказывается затенена большую часть вегетационного периода. Следствием этого является самая низкая из анализируемых культур температура почвы, и самая высокая почвенная влажность, что благоприятно влияет на эмиссию CO_2 почвенными микроорганизмами [10]. С другой стороны, биомасса ее корней, дыхание которых является второй важнейшей составляющей эмиссии CO_2 из почвы, значительно выше.

Сезонный ход дыхания почв сходный для ячменя и ржи (рис. 2). Пик эмиссии CO_2 приходится на 3 августа, что объяснимо активацией эффекта Бирча [11] — в предшествующие дни в Москве шли обильные дожди. Сезонный ход дыхания участков под картофелем выражен слабо относительно других культур, но наблюдаются те же пиковые значения, что и у ржи с ячменем — 3 августа и 6 июля. Как отмечалось ранее, такие низкие потоки обусловлены применением гребневания. На почвах под паром наибольшая эмиссия CO_2 приходится на 6 июля, в отличие от остальных культур: в период между 6 и 18 июля поля под паром были проборонованы и лишены ранее развившейся сорной растительности.

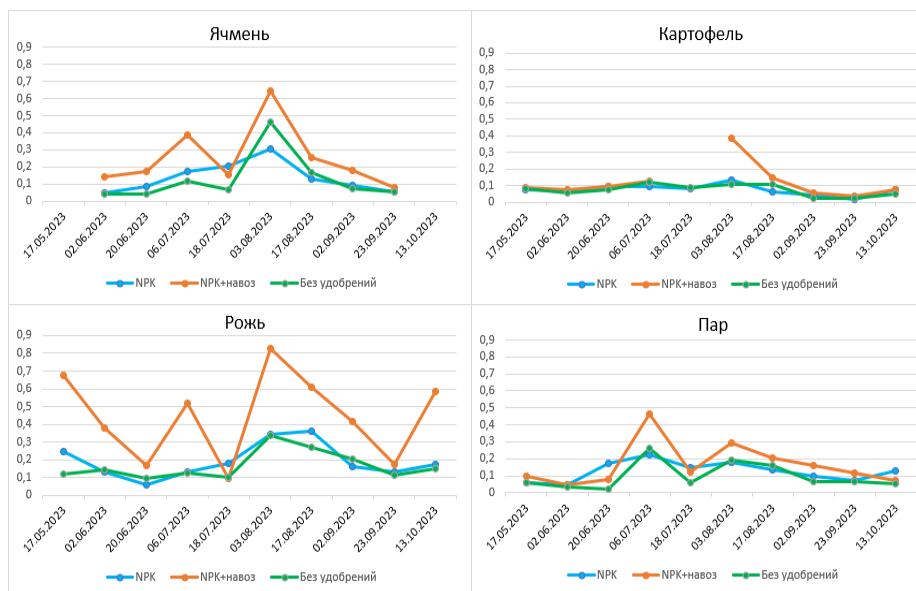


Рисунок 4. Сезонный ход эмиссии CO_2 (г $\text{C}/\text{м}^2$ ч) в зависимости от типа культуры и удобрений.

ВЫВОДЫ

Почвы Длительного полевого опыта характеризуются различными показателями эмиссии CO_2 в зависимости от возделываемых культур: максимальные значения характерны для ржи ($(0,264 \pm 0,235)$ г $\text{C}/(\text{м}^2 \times \text{ч})$), минимальные — для картофеля ($(0,093 \pm 0,081)$ г $\text{C}/(\text{м}^2 \times \text{ч})$).

Внесение органических удобрений приводит к повышению интенсивности почвенного дыхания относительно других вариантов: $(0,247 \pm 0,250)$ г С / м² × ч при NPK + навоз по сравнению с $(0,133 \pm 0,107)$ г С / (м² × ч) при NPK и $(0,118 \pm 0,114)$ г С / (м² × ч) без удобрений.

Применение гребневания при возделывании картофеля приводит к снижению почвенной влажности, и, как следствие, к замедлению скорости почвенной эмиссии CO₂.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена за счет средств гранта РНФ № 23-26-00191.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. IPCC, 2022: Summary for Policymakers // Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change : Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the IPCC. Cambridge, UK, NY, USA : Cambridge University Press, 2022.
2. Ryan M. G., Law B. E. Interpreting, measuring, and modeling soil respiration // Biogeochemistry. 2005. Vol. 73. P. 3–27.
3. Raich J., Schlesinger W. The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate // Tellus B. 1992. Vol. 44. P. 81–99.
4. Bond-Lamberty B., Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record // Nature. 2010. Vol. 464. P. 579–582.
5. Friedlingstein P., O’Sullivan M., Jones M. W., Andrew R. M., Gregor L., Hauck J. [et al.]. Global Carbon Budget 2022 // Earth System Science Data. 2022. Vol. 14. P. 4811–4900.
6. Wang C., Amon B., Schulz K., Mehdi B. Factors that influence nitrous oxide emissions from agricultural soils as well as their representation in simulation models: a review // Agronomy. 2021. Vol. 11. P. 770.
7. Мазиров М. А., Сафонов А. Ф. Длительный полевой опыт РГАУ-МСХА: сущность и этапы развития // Известия ТСХА. 2010. Вып. 2. С. 66–75.
8. Суховеева О. Э., Карелин Д. В., Золотухин А. Н., Почикалов А. В. Дыхание почвы в аграрных и природных экосистемах Европейской территории России // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1077–1088.
9. Karelin D. V., Lyuri D. I., Goryachkin S. V., Lunin V. N., Kudikov A. V. Changes in the carbon dioxide emission from soils in the course of

postagrogenic succession in the Chernozem forest-steppe // Eurasian Soil Science. 2015. 48(11). P. 1229–1241.

10. Luo Y., Zhou X. Soil Respiration and the Environment. NY : Academic Press, 2006.
11. Birch H. F. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability // Plant & Soil. 1958. Vol. 10. P. 9–31.

**Результаты исследования разрушенного булгунняха
в Чурапчинском районе (Центральная Якутия):
строение и геохимия**

Д. Е. Сивцев¹, И. А. Платонов¹, Н. В. Торговкин²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, г. Москва, Ленинские горы, 1,
kotosogi@gmail.com, platonovignat@yandex.ru

²Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН,
677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36, nick1805torg@gmail.com

Введение. Местоположение булгунняха, общая морфология.

Проблема деградации вечной мерзлоты — одна из наиболее актуальных в естественных и инженерных науках. В результате сокращения площади криолитозоны и повышения температуры мерзлых пород происходит перестройка рельефа, растительного покрова территории, нарушается характер взаимодействия между элементами мерзлотных природно-территориальных комплексов, активизируется термокарст. Произошедший летом 2023 г. размыв ядра булгунняха в Центральной Якутии (близ с. Толон, Центральная Якутия) — одно из проявлений деградации мерзлоты (рис. 1). В соответствии с обозначенной проблемой поставлена цель настоящей работы — представить промежуточные результаты исследования булгунняха близ с. Толон. Они включают в себя материалы съемки булгунняха с БПЛА, данные изотопного и геохимического анализа.



Рисунок 1. Размытый булгуннях близ с. Толон.
Фото с дрона, 31.08.2023.

Методика исследования.

Для построения ортофотопланов и цифровых моделей местности проведена вертикальная съемка с БПЛА с перекрытием снимков не менее 50%. Для определения положения БПЛА в пространстве использовался встроенный GPS-приемник и высотомер.

Обработка аэрофотоснимков проводилась в программе Agisoft Metashape. По серии снимков создавалось плотное облако точек. На его основе строятся цифровая модель местности (ЦММ), ортофотопланы и тайловые модели. Положение булгунняха на ЦММ и ЦМР было разным, поэтому была произведена перепривязка по двум точкам к ЦММ булгунняха. С помощью калькулятора растров все ЦММ и ЦМР приведены к одному уровню относительно поверхности дна аласа (рис. 2).

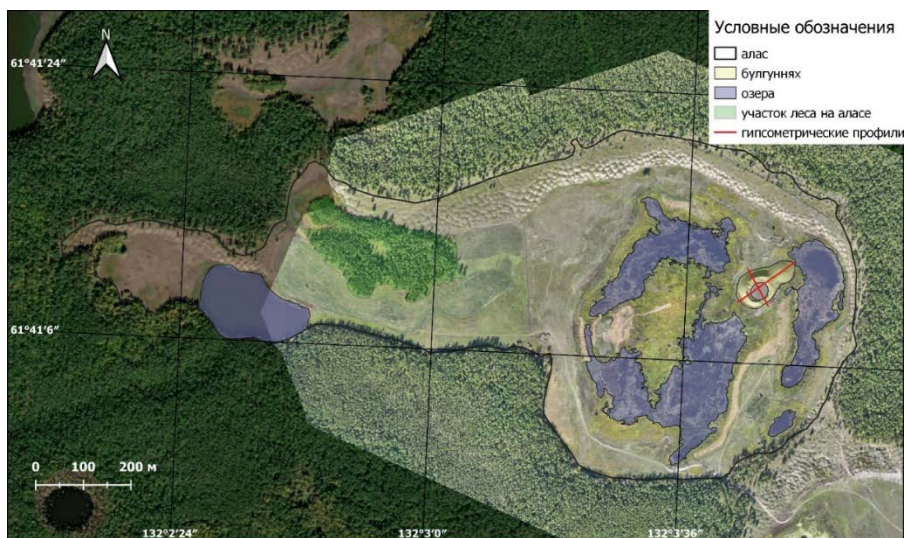


Рисунок 2. Схема дешифрирования отдельных элементов аласа с булгунняхом близ с. Толон.

В качестве картографической основы использован ортофотоплан и слой ESRI Satellite.

Отбор образцов подземного льда производился с помощью аккумуляторной дрели, направленной горизонтально в разные вскрытые фрагменты ледяного ядра булгунняха. На химический анализ отобраны 6 образцов воды из озера и подземных льдов. Анализ химического состава проведен в ИМЗ СО РАН (г. Якутск).

Анализ состава стабильных изотопов кислорода $\delta^{18}\text{O}$ и водорода δD проводился на лазерном спектрометре Picarro L2140i в совместной российско-германской лаборатории по изучению стабильных изотопов воды льда и снега в ИМЗ СО РАН (г. Якутск). В ходе анализа применялись внутренние стандарты воды лаборатории стабильных изотопов Института им. А. Вегенера (г. Потсдам, Германия).

Результаты.

Булгуннях расположен в центральной части аласа и имеет вытянутую форму в виде «восьмерки», ориентированной на северо-запад. Разрушению с образованием озера диаметром около 35 м подверглась наиболее высокая и широкая часть булгуннях.

Морфометрические характеристики булгуннях. Высота булгуннях составляет 13 м, длина в СЗ направлении — 130 м, в широкой разрушенной части — 76 м. По построенным ЦММ и архивным цифровым моделям рельефа ArcticDEM 2020 года определена разница высот центральной части булгуннях до активного разрушения в последние годы (рис. 3).

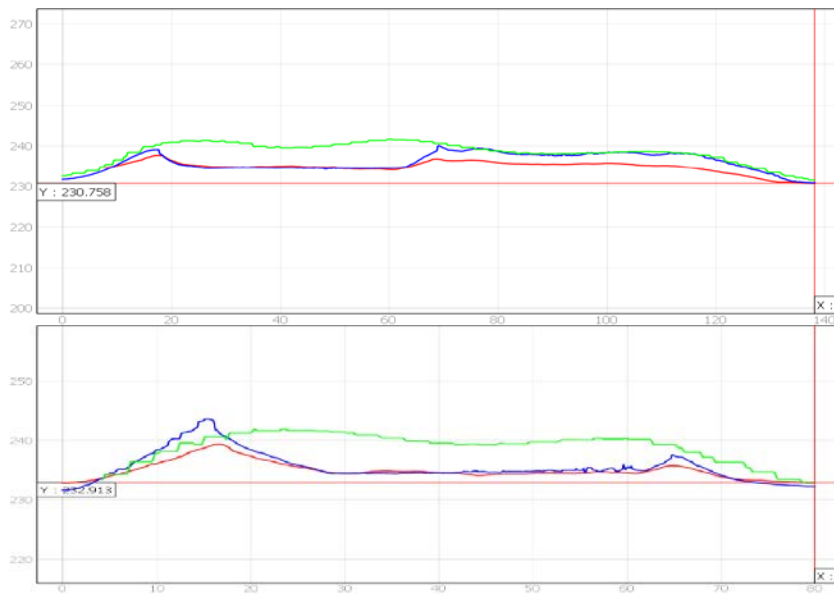


Рисунок 3. Гипсометрические профили бугра пучения в СЗ простирании (слева), в широкой части с озером (справа).

Зеленым цветом обозначены высоты ArcticDEM; синим — ЦММ на основе съемки со 100 метров; красным — ЦММ на основе съемки с 500 метров.

Разница высот центральной части булгунняха между ЦММ булгунняха и ЦМР ArcticDEM за 2020 год составляет 5–6 м, между ЦММ аласа и ЦМР ArcticDEM — 4–5 м. Таким образом, для более точного измерения морфометрических характеристик необходимо проводить съемку на малых высотах. Верхняя часть булгунняха на 2020 год имела слабовогнутую форму, т. е. разрушение булгунняха началось раньше момента съёмки.

Криогенное строение. Лед ядра булгунняха преимущественно чистый, крупные минеральные включения в видимых фрагментах отсутствуют. Цвет льда белесый или голубоватый. Под подошвой покровного слоя на высоте 6 м относительно уровня воды в «талом озере» лед ядра прозрачный. Отмечается присутствие редких воздушных пузырьков диаметром до 0,5 мм и вытянутых нитеобразных пузырьков длиной 1–2 см. Ниже, на высоте 2–4 м относительно уровня озера лед преимущественно сероватый, с голубоватым оттенком. В верхней части левой стенки термоэрозионной полости, ориентированной на северо-запад, прослеживается четкая граница между прозрачным голубовато-серым льдом ядра булгунняха и белесым льдом, который выполняет центральную часть свода полости. Вероятно, белесый лед имеет атмосферное происхождение. Ядро булгунняха образовалось в результате промерзания талика на месте дренированного термокарстового озера.

Мощность покровного слоя в верхней части булгунняха составляет 1,9–2,2 м. Толща сложена серовато-бурыми пылеватыми супесями с прослоями и пятнами ожелезнения, выделяются плитчатые грунтовые агрегаты диаметром 1–5 см. Подошва сезонно-талого слоя находится на высоте 1,8 м от поверхности. Льдистость мерзлых пород увеличивается вниз к ледяному ядру.

Результаты изотопного анализа. По средним значениям $\delta^{18}\text{O}$, δD и дейтериевого эксцесса ($d\text{ exs}$) ледяного ядра булгуннях близ с. Толон наиболее близок к пинго Weather на Аляске и булгунняху «Широковский холм» (таблица 1). Сходство говорит об аналогичном механизме их формирования. Лед их ядер образован из влаги промерзшего подоцерного талика, когда льдообразование происходило в условиях закрытой системы. Образец, отобранный на границе между голубоватым льдом ядра и белесым льдом, имеет более легкий изотопный состав: $-24,07\text{‰}$ по $\delta^{18}\text{O}$, $-191,73\text{‰}$ по δD и 0,9 по $d\text{ exs}$. Это подтверждает версию об атмосферном происхождении белесого льда.

Таблица 1. Средние значения содержания стабильных изотопов $\delta^{18}\text{O}$ и d exc для ядер булгур пучения Северо-Восточной Евразии и Аляски.

Название точки	$\delta^{18}\text{O} + \text{St. Dev, \%}$	$\delta\text{D} + \text{St. Dev, \%}$	$\text{d exc} + \text{St. Dev, \%}$
Булгуннях близ с. Толон [Авторы]	-17,41 $\pm 2,02$	-149,26 $\pm 12,97$	-9,97 $\pm 3,96$
Булгуннях Мессояха-1, Гыданский п-ов [1]	-15,64 $\pm 0,43$	-121,01 $\pm 1,67$	4,09 $\pm 2,75$
Булгуннях Песцовое, Тазовский п-ов [2]	-13,27 $\pm 1,22$	-106,61 $\pm 3,90$	-0,43 $\pm 3,90$
Пинго Weather, Аляска [2]	-17,58 $\pm 1,62$	-145,89 $\pm 8,21$	-5,24 $\pm 5,52$
Булгуннях «Широковский холм», Колымская низменность [3]	-17,10 $\pm 0,60$	-144,50 $\pm 3,40$	-7,70 $\pm 1,50$
Пинго Монгот, Северо-Восточная Монголия [4]	-14,58 $\pm 0,83$	-114,16 $\pm 5,23$	2,44 $\pm 2,80$

Химический состав озера и подземных льдов.

Соотношение анионов и катионов в анализированных образцах представлено в виде диаграммы Пайпера (рис. 4).

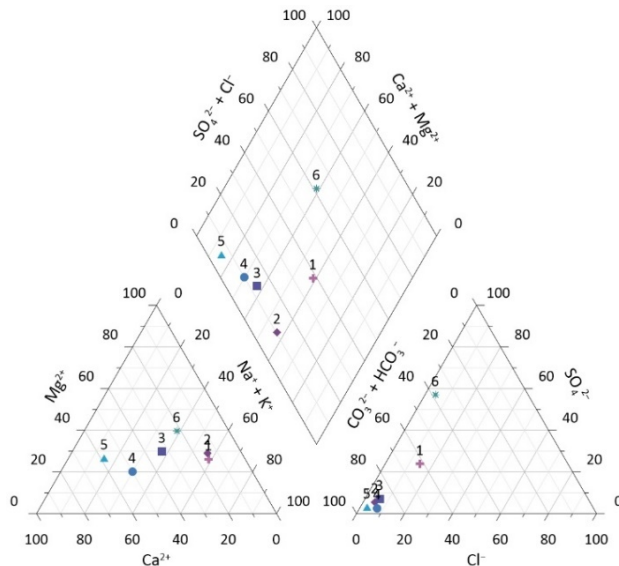


Рисунок 4. Диаграмма Пайпера состава озерных вод и подземных льдов:

- 1 — озеро в центре булгуннях; 2 — талая вода, стекающая со льда; 3 — белесый лед; 4 — голубой инъекционный лед; 5, 6 — снежник из грота.

Анализируемые образцы имеют нейтральный или слабощелочной pH. Преобладают катионы Mg^{2+} и Ca^{2+} , анионы HCO_3^- и CO_3^{2-} . Минерализация варьирует от 68 мг/л в инъекционном голубом льде до 587 мг/л в образованном озере.

Метеорологические данные.

По метеорологическим данным с ближайшего населенного пункта — с. Крест-Хальджай — установлено, что разрушению булгунняха предшествовало теплое лето (июль) и обильные осадки осенью 2022 года, а также в весенне-летний период 2023 года. Также в 2023 году высота снежного покрова в апреле была почти на 10 см выше, чем в то же время в 2022 году. Предположительно, отепляющее воздействие снежного покрова и совокупность других факторов привело к размытию булгунняха в 2023 году с образованием озера.

Выводы.

Изотопный состав подземных льдов отражает условия их формирования. В связи с этим распространено использование этой методики при палеогеографических исследованиях в криолитозоне. В частности, метод помогает установить термодинамические параметры льдообразования. Разрушение центральной части булгунняха с вытаиванием ледяного ядра и понижением уровня на 6 м произошло летом 2023 года предположительно из-за совокупности аномальных температурных условий и количества осадков в период 2022–2023 гг. Тем не менее, разрушение булгунняха началось до 2023 года, о чем свидетельствуют данные дистанционного зондирования за 2020 год (ЦМР ArcticDEM).

Исследование выполнено при финансовой поддержке научного проекта НИОКТР 122011800064-9 «Строение и ключевые этапы эволюции континентальной криолитозоны в неоплейстоцене и голоцене».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильчук Ю. К., Курчатова А. Н., Буданцева Н. А., Рогов В. В., Чижова Ю. Н. Распределение стабильных изотопов кислорода и водорода в ледяном ядре булгунняха на юге Гыданского полуострова // Доклады Академии наук. 2019. Т. 488, № 3. С. 323–328.
2. Vasil'chuk Y., Lawson D., Yoshikawa K., Budantseva N., Chizhova J., Podborny Y., Vasil'chuk A. Stable isotopes in the closed-system Weather Pingo, Alaska and Pestsovoye Pingo, northwestern Siberia // Cold Regions Science and Technology. 2016. Vol. 128. P. 13–21.

3. Wetterich S., Schirrmeister L., Nazarova L., Palagushkina O., Bobrov A., Pogosyan L., Savelieva L., Syrykh L., Matthes H., Fritz M., Günther F., Opel T., Meyer H. Holocene thermokarst and pingo development in the Kolyma Lowland (NE Siberia) // Permafrost and Periglacial Processes. 2018. Vol. 29, № 3. P. 182–198.
4. Yoshikawa K., Sharkhuu N., Anarmaa S. Groundwater hydrology and stable isotope analysis of an open-system pingo in northwestern Mongolia // Permafrost and Periglacial Processes. 2013. Vol. 24, № 3. P. 175–183.

**Свидетельства голоценовых селевых событий в долине
Алявумйока (Западные Хибины)**

В. В. Смирнова^{1,*}, А. И. Рудинская², Ю. Р. Беляев¹, Е. В. Гаранкина^{1,2},
Е. Д. Шеремяцкая², В. Р. Беляев¹

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1

*smirnova_veronika_01@bk.ru

²Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29с4

Хибинский среднегорный массив, обладая наиболее контрастным рельефом в пределах Европейского сектора Российской Субарктики, предрасполагает к значительной интенсивности экзогенных рельефообразующих процессов, в том числе таких разрушительных высокоэнергетических событий, как сели.

Селевые потоки представляют собой стремительные, локализованные в руслах потоки из смеси воды и обломков горных пород, характеризующиеся внезапностью, инерционностью и пульсационным движением [1]. Бассейны, в которых периодически реализуется селевой процесс, называют селевыми. В Хибинах таковыми являются бассейны водотоков 1–3 порядка (по Штраллеру) [2].

К настоящему моменту получены результаты, позволяющие констатировать ведущую роль селевых потоков как фактора развития долин Хибин в послеледниковье [3, 4]. Селевые события периодически, а в ряде случаев почти ежегодно обновляют черты геоморфологического строения днищ долин на всем их протяжении от верховий до устьевых областей, преобладая даже над типичными флювиальными процессами. Тем не менее, предметом дискуссии остаются вопросы о возрасте конкретных событий, их причинах, повторяемости схода селей, а также ее динамики во второй половине голоцена и на современном этапе эволюции горных ландшафтов.

Морфометрические параметры древних форм селевого рельефа, таких как конусы выноса, по площади в несколько раз превышающие аналогичные молодые образования, и селевые террасы с превышением 4–6 м над современным днищем, свидетельствуют о больших по сравнению с наблюдаемыми сейчас мощностях создавших их потоков [5]. Предположительно, такие катастрофические события могут быть связаны со значительными перестройками всей ландшафтной системы в ответ на

климатические флуктуации внутри голоцена. Триггером же событий, произошедших в исторический период, которые, соответственно, могут быть численно атрибутированы значением календарного возраста по результатам дендрохронологического анализа, в первую очередь, выступает благоприятное стечение метеорологических условий. Некоторые из селевых эпизодов могут быть и сейсмически спровоцированы [6].

Оцененная лихенометрическим методом повторяемость селей (достаточно крупных, чтобы их следы сохранялись в рельефе длительное время) для схожих с Хибинами по морфологии платообразных горных территорий острова Шпицберген и фьельдов Шведской Лапландии в разных простых селевых бассейнах составляет от 80 до 500 и от 50 до 400 лет соответственно [7, 8]. При этом чем мощнее событие, тем больше интервал его повторяемости [9]. Для Хибин определено значение от 10–30 до 500 лет в зависимости от объема перемещаемых масс [2]. В пределах всего западного сектора Субарктики интенсификация гравитационных процессов (лавин, водоснежных и типичных селевых потоков и т. д.) отмечается в Малый ледниковый период (особенно в его начале и конце) и начиная с середины прошлого века [4, 10, 11, 12, 13 и др.].

Изученная долина Алявумйока расположена в Западных Хибинах, на левом борту трога р. Малой Белой. Длина постоянного водотока составляет 2.5 км при общей протяженности долины в 3.1 км, площадь бассейна — 1.6 км². Общий перепад высот между верхней частью зоны зарождения и основанием зоны аккумуляции достигает 500–550 м. Средние уклоны продольного профиля уменьшаются от 300–550‰ в пределах зоны зарождения и верхней части зоны транзита до 150–200‰ в средней и нижней части зоны транзита.

Зона зарождения селей охватывает нивационную нишу в верховьях долины и прилегающие эрозионные склоны. Обнаженность скальных бортов способствует быстрому стеканию дождевых вод, а источником твердого питания водокаменных селей служат, по всей видимости, обвально-осыпные накопления в основании склонов, а также маломощные ледниковые и более древние селевые отложения.

На транзитном участке долины Алявумйок течет во врезе глубиной до 20–22 м. В эрозионно-селевом днище, имеющем ширину 8–20 м, выделяются формы промежуточной аккумуляции — узкие селевые террасы высотой 1–2 м над урезом и кулисы гряд. В среднем течении вогнутый продольный профиль ломается, появляется ступенчатость, структурно

связанная с трахитоидностью коренных хибинитов и внедрениями более стойких пород. Рыхлый чехол на данном отрезке днища долины практически полностью содран, а русло имеет порожисто-водопадный характер. Ниже водопадного уступа высотой около 3 м, при выходе из гор в днище принимающего трога уклоны резко падают, начинается транзитно-аккумулятивная и затем — аккумулятивная зона, сливающаяся с зоной разгрузки ручья, расположенного западнее.

Конус выноса Алявумйока имеет относительно правильную лопастевидную в плане форму, длину до 580–600 м и ширину по основанию до 300–320 м. Перепад высот между основанием и дистальным краем достигает 26 м. В пределах конуса выделяется несколько разновозрастных его генераций, морфологически и по растительности различающихся между собой. Для уточнения истории их формирования мы привлекли ряд методов датирования. Дендрохронологический анализ позволяет получить данные о возрасте древостоя, субстратом для которого выступают отложения селевого конуса, а также о времени формирования компрессионных колец у деревьев с видимыми повреждениями стволов, полученными при соударении с обломками в теле потока. Таким образом, с учетом скорости инициального зарастания в данных ландшафтно-климатических условиях, устанавливается верхний предел календарного возраста поверхности. Для морфологических разностей в пределах западной (левой) лопасти конуса были определены различия в характере древостоя — сомкнутости лесного покрова, характерному и максимальному радиусам стволов, визуальному возрасту хвойных деревьев и задернованности подстилающей поверхности. На основе 5 определений по древесным кернам, взятым из типичных для каждого из выделов представителей древесного яруса, удалось датировать генерации возрастом около 250 и 300 лет, наложенные на отложения селя, сошедшего не менее 350 лет назад.

Второй подход к датированию селевых событий заключается в определении радиоуглеродным методом возраста подстилающих конус органосодержащих прослоев или фрагментов древесины, вовлеченной в селевую массу. На западной периферии конуса Алявумйока погребенный малоомощным дресвяным селевым выплеском гумусовый горизонт почвы, вскрытый в искори, датирован 681–769 кал. л. н.

Особый интерес представляет наиболее далеко выдвинутая в долину Малой Белой северо-восточная (правая) «каплевидная» лопасть

конуса Алявумйока. По всей видимости, более свежий выброс, падающий к реке фронтальным уступом, наложен здесь на древнюю поверхность селевой аккумуляции. Более молодая генерация имеет оголенную, пологовыпуклую поверхность, шириной 120–150 м при длине около 200 м, покрытую щебнисто-дресвяно-валунной отмосткой без признаков сортировки. Отдельные глыбы достигают двухметрового размера и выступают над общим уровнем конуса. Этот контрастный фрагмент поверхности читается уже на первых картах Хибин конца 1920-х — начала 1930-х г. С целью уточнения возрастных приделжек в летний сезон 2023 г во фронтальной части конуса был заложен шурфовой профиль. Горными выработками вскрыта глыбово-валунно-щебнистая смесь с непройденной мощностью (более 1 м) по створу верхнего шурфа, выклинивающаяся вниз по профилю, с поровым до базального заполнителем из дресвы с разнозернистым песком (вплоть до оглиненного песка в самой дистальной части). Грубообломочная толща залегает на серо-коричневом, до серо-зеленого горизонтально тонкослоистом алеврите, насыщенном органическим веществом. Предположительно, конус лег на осадки подпруженного озера, трансформировав гидрографическую ситуацию в среднем течении Малой Белой.

Датирование образцов полуразложившейся древесины, гумусированного материала и органических включений с погребенной палеоповерхности, отобранных из шурфов, позволит уточнить позднеголоценовую историю селепроявлений в долине Алявумйока и сопоставить её с развитием болотного массива на противоположном берегу Малой Белой, перспективного в качестве летописи локальных изменений природных обстановок.

Согласно оценкам, в бассейне Алявумйока мощные водокаменные сели сходили не менее 5 или 6 раз за последнее тысячелетие. Прямыми наблюдениями установлено отсутствие значимых переформирований рельефа днища в течение последнего десятка лет, тем не менее, водоснежные потоки, характерные для Хибин в период снеготаяния, могут сходить здесь довольно часто, не имея при этом значительного влияния на рельеф.

Исследование выполнено по теме ГЗ АААА-А16-121040100323-5 «Эволюция природной среды в кайнозой, динамика рельефа, геоморфологические опасности и риски природопользования».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перов В. Ф. Селеведение : уч. пособие. М. : Географический факультет МГУ, 2012. 274 с.
2. Водоснежные потоки Хибин / Божинский А. Н., Евтеев А. О., Мягков С. М. [и др.] ; под редакцией Божинского А. Н., Мягкова С. М. М. : Географический факультет МГУ, 2001. 167 с.
3. Гуринов А. Л., Гаранкина Е. В., Беляев В. Р. [и др.]. Водоснежные потоки и флювиальные процессы в разнопорядковых долинах Хибин // Рациональное использование и охрана водных ресурсов : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Барнаул : Изд-во Алтайского гос. ун-та, 2017. С. 72–77.
4. Garankina E., Belyaev V., Romanenko F., Ivanov M., Kuzmenkova N., Gurinov A., Tulyakov E. Magnitude and frequency of debris and slush flows in the Khibiny mountain valleys, Kola peninsula, NW Russia // Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences. No. 381. 2019. P. 37–47.
5. Рудинская А. И., Беляев Ю. Р. Морфометрические характеристики селевых бассейнов гор Европейского сектора Российской Субарктики // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86, № 5. С. 746–762.
6. Гаранкина Е. В., Лукашов А. А. Взаимосвязь проявлений сейсмичности и селевой деятельности в Хибинском низкогорном массиве, Кольский полуостров, Россия // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита : Труды 5-й Международной конференции. Тбилиси, Грузия, 1–5 октября 2018 г. / под ред. Г. Гавардашвили, С. С. Черноморец. Тбилиси : Универсал, 2018. С. 299–307.
7. André M.-F. Frequency of debris flows and slush avalanches in Spitsbergen: a tentative evaluation from lichenometry // Pol. Pojar Res. 1990. II. P. 345–363.
8. Rapp A., & Nyberg R. Alpine Debris Flows in Northern Scandinavia // Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography. 1981. 63(3-4). P. 183–196.
9. Van Steijn H. Debris-flow magnitude—frequency relationships for mountainous regions of Central and Northwest Europe // Geomorphology. 1996. 15(3-4). P. 259–273.

10. André M.-F. Holocene Climate Fluctuations and Geomorphic Impact of Extreme Events in Svalbard // *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. 1995. 77(4). P. 241–250.
11. Ващалова Т. В. Палеогеографический подход к реконструкции активности снежных лавин в целях долгосрочного прогноза (на примере Хибин) // Оценка и долгосрочный прогноз изменения природы гор. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1987. С. 120–128.
12. Возовик Ю. И., Лукьянова Л. М., Мягков С. М. Лавинный режим в Хибинах в течение последних 150 лет // *Фитоиндикационные методы в гляциологии*. М. : Изд-во МГУ, 1971. С. 32–42.
13. Рудинская А. И., Гаранкина Е. В., Семеняк Н. С., Беляев В. Р., Шеремяцкая Е. Д., Беляев Ю. Р. Реконструкция позднеголоценовых селевых событий Хибин // Пути эволюционной географии 2021 : Материалы II Всероссийской научной конференции памяти профессора А. А. Величко (Москва, 22–25 ноября 2021 г.). В 2 т. Т. 2. М. : ФГБУ ИГ РАН, 2021. С. 322–325.

Постпирогенное восстановление луговой растительности по спутниковым снимкам Sentinel-2

Д. Н. Тихонов^{1, 2}, А. М. Карпачевский¹, Т. В. Королева¹

¹МГУ имени М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы,
МГУ, д. 1, dtikhonov66@gmail.com, karpach-am@yandex.ru

²Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 117997,
Российская Федерация, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14

Природные пожары являются одним из ведущих факторов воздействия на природную среду. Изучению пожаров с применением данных дистанционного зондирования Земли уделяется большое внимание в научном сообществе по всему миру [1], [2]. Однако и в мире, и, в особенности, в России, подавляющая часть данных работ посвящена изучению пожаров на территории лесов и болот. В то же время луговые пожары являются не менее важной проблемой, которая на данный момент изучена недостаточно.

Целью данной работы является исследование восстановления луговой растительности после пожаров на основе изменения состояния растительных сообществ, в т. ч. на территории ООПТ, с использованием многовременных спутниковых снимков среднего пространственного разрешения Sentinel-2. Для подбора и анализа снимков использовалась облачная платформа Google Earth Engine.

В работе подробно изучались 9 пожаров, проходивших на территории 4 регионов юга Западной Сибири (Курганской, Новосибирской, Омской и Челябинской областей) в период с 2019 по 2021 год (рис. 1).

Для каждого пожара были подобраны атмосферно-корректированные снимки на диапазон дат [1 год до пожара; 2 года после пожара] с маскированием облачности. На изучаемых пирогенно-трансформированных территориях было выделено по 10 квадратных площадок размером 350 × 350 метров. Аналогично было выделено по столько же площадок на примыкающей территории, незатронутой пожаром (пример на рис. 2).

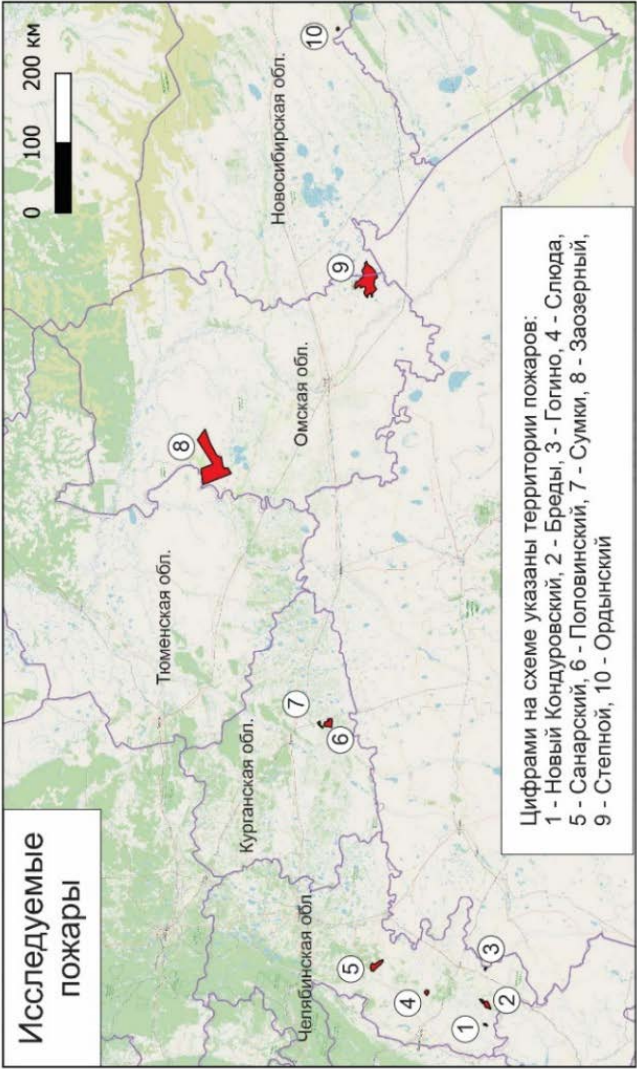


Рисунок 1. Расположение исследуемых пожаров.

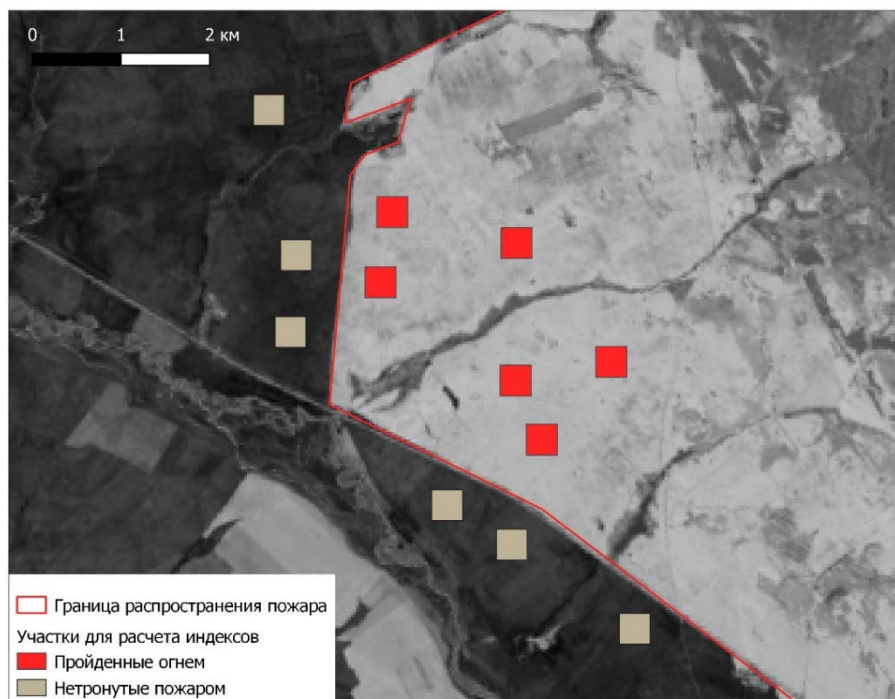


Рисунок 2. Пример расположения площадок для пожара в Санарском заказнике.

Для всех выделенных участков были рассчитаны осредненные значения нормализованного индекса гари (NBR) и вегетационного индекса (NDVI). Для изучения воздействия пожаров на состояние луговой растительности оценивалось изменение значений данных спектральных индексов в течение диапазона дат, на который были подобраны снимки, а для учета собственной динамики состояния растительности сопоставлялись разности значений индексов для горевших и негоревших участков.

В результате статистического анализа вычисленных разностей значений индексов (с использованием критерия Манна-Уитни) было обнаружено, что в целом уже через год после пожара нельзя выявить статистически значимые различия в растительном покрове горевших и негоревших участков по обоим спектральным индексам. При анализе отдельных регионов выяснилось, что в Омской и Новосибирской области наблюдается меньшая скорость восстановления растительного покрова на основе индекса NBR. Так, в Новосибирской области даже через два

года после пожара наблюдаются статистически значимые различия в индексе NBR2. С индексом NDVI ситуация обратная — в Челябинской области, расположенной западнее всех, последствия пожаров наблюдаются и через два года.

Работы выполнены в рамках проекта РНФ № 22-27-00329 «Моделирование отклика луговых экосистем на пирогенное воздействие в контролируемых условиях».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. French N., Kasischke E., Hall R., Murphy K., Verbyla D., Hoy E., Allen J. Using Landsat data to assess fire and burn severity in the North American boreal forest region: an overview and summary of results // International Journal of Wildland Fire. 2008. Vol. 17, № 4. P. 443–462.
2. Pacheco A., Junior J., Ruiz-Armenteros A., Henriques R. Assessment of k-nearest neighbor and random forest classifiers for mapping forest fire areas in central Portugal using Landsat-8, Sentinel-2, and Terra imagery // Remote Sensing. 2021. Vol. 13, № 7. P. 1345.

**Экспедиционное зондирование как метод исследования
атмосферно-геоморфологических взаимосвязей в пограничном
слое атмосферы (на примере ландшафтов центра
Восточно-Европейской равнины)**

С. А. Тобратов¹, О. С. Железнова¹, Ю. Н. Шилкина²

¹Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина,
390000, Рязань, ул. Свободы, 46,

tobratovsa@mail.ru, o.zheleznova@365.rsu.edu.ru

²Санкт-Петербургский государственный университет, 199034,
Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9, yu.shilckina@yandex.ru

Вопрос влияния неоднородных поверхностей рельефа на воздушные потоки, и как следствие на перенос атмотехногенных токсикантов, на данный момент является одним из наименее разработанных в теории атмосферной диффузии. Согласно данной теории равнинный рельеф и тем более растительный покров признаются незначительными факторами [6], что зачастую приводит к огромным расхождениям в расчетах параметров загрязнения атмосферы [2, 3, 5, 7]. Причина этих расхождений частично объясняется недостаточной изученностью зависимостей между циркуляциями локального и синоптического масштабов [2]. Однако куда большую роль играют принципиальные ограничения применяемых расчетных схем, а именно — возможность применения аналитических решений уравнений турбулентной вязкости лишь в условиях безвихревого течения [7]. Такой подход определяет отсутствие учета микро- и мезомасштабных вихрей, порождаемых неоднородной поверхностью, в частности равнинным рельефом. Учет турбулентной вязкости (внедрение в расчетные схемы уравнений Навье — Стокса) делает модели громоздкими и неработоспособными [3], в результате чего приходится прибегать к упрощению и огрублению моделей.

В настоящее время достаточно распространенным является мнение, что адекватное математическое моделирование атмосферных процессов, связанных с горизонтальным переносом, не представляется возможным даже в масштабах 10–100 км [3]. Таким образом, и в XXI веке наиболее надежным источником сведений об особенностях динамики воздушных потоков в планетарном пограничном слое является интерполяция и экстраполяция данных непосредственных измерений

(запусков шаров-зондов, спутникового зондирования, маршрутных снегосъемок и т. д.) [2, 5, 7].

Ранее проводимые в центре Восточно-Европейской равнины ландшафтно-геохимические исследования [4, 8] позволили установить, что под влиянием неоднородностей рельефа, в меньшей степени растительного покрова, сформировались устойчивые пути атмосферной миграции загрязняющих веществ (далеко не всегда корреспондирующие с розой ветров), и обособились территории, в разной степени подверженные их воздействию. Однако устойчивость таких траекторий во времени и метеоусловия, обуславливающие их, нуждаются в экспериментальном подтверждении.

Очевидно, что основные процессы переноса веществ осуществляются в нижней части атмосферы, испытывающей непосредственное термическое и динамическое влияние поверхности Земли, — планетарном пограничном слое (ППС). Средняя расчетная высота данного слоя колеблется в интервале 1,5–2 км, однако подобные расчеты обычно проводятся для однородной поверхности и прямолинейных изобар. При этом планетарный пограничный слой трактуется, прежде всего, как «слой трения», а его верхняя граница рассматривается как условная поверхность, где спираль Экмана заканчивается, скорость и направление ветра становятся геострофическими, а какие-либо фазовые рубежи отсутствуют. Существенно меньшее число авторов [1] рассматривает первую от поверхности приподнятую инверсию в качестве естественного ограничителя, что по нашему мнению, является более целесообразным, так как в этом случае ППС предстает в качестве автономного атмосферного образования со своими закономерностями циркуляции и миграции вещества.

Исследования проводились на одном из важнейших ландшафтных рубежей Восточно-Европейской равнины — границе Среднерусской возвышенности и Мещерской низменности, которую трассирует и делает ещё более контрастной пойма Оки, внутренне также неоднородная (чередование суженных и расширенных участков, останцов надпойменных террас и т. д.). Пункты запуска радиозондов выбирались исходя из геоморфологической структуры территории (рис. 1).

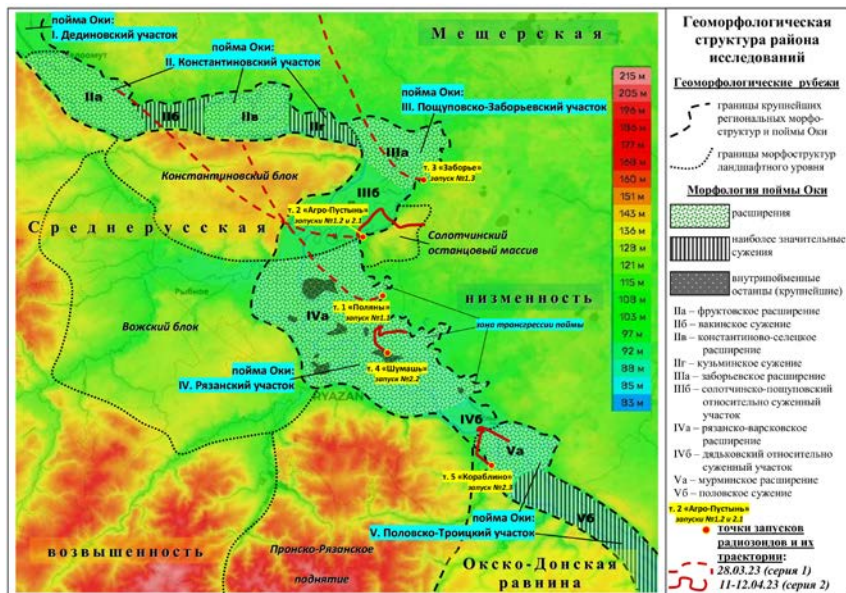


Рисунок 1. Геоморфологическая структура исследуемого региона с указанием местоположения точек запусков радиозондов.

Использовались радиозонды МРЗ-Н1 «Радий», применяемые на российских аэрологических станциях. Данные зондирования (геодезические координаты, абсолютная высота, температура и относительная влажность воздуха) фиксировались радиосканирующим RTL-SDR приемником на частоте 403 МГц с последующей записью в файл обменного формата *.txt. Радиозонды, запускаемые на аэрологических станциях, имеют скорость подъема 4–10 м/с, вследствие чего зонд проходит через ППС всего за 1–2 минуты, что делает аэрологические данные Росгидромета мало пригодными для целей нашего исследования. Меры по замедлению подъема (балластный груз и «недозаполнение» гелием оболочки) снижали вертикальную скорость запускаемых нами радиозондов до 0,8–1,7 м/с.

С помощью геоинформационной системы QGIS осуществлена трассировка траекторий зондов и графическое представление атрибутивной информации — изменения абсолютной высоты, температуры и влажности воздуха по направлению полета, а также вертикальное (трехмерное) профилирование траекторий для анализа их пространственных отношений с формами рельефа.

Всего было осуществлено две серии запусков радиозондов — 28 марта и 11 апреля 2023 года. Первая серия характеризовала метеоусловия, наименее благоприятные для влияния рельефа на конфигурацию воздушных потоков в пределах ППС — наблюдались высокий горизонтальный барический градиент ($G = 2,17 \text{ гПа} / 100 \text{ км}$), неустановившиеся погодные условия с тенденцией к росту циклоничности, значительные горизонтальный и вертикальный обмен. Вторая серия запусков, наоборот, была предпринята в антициклональных условиях, при выраженной адвекции тепла с юго-востока, малоградиентном барическом поле ($G = 0,35\text{--}0,60 \text{ гПа} / 100 \text{ км}$), слабом приземном ветре и благоприятных условиях для ночного выхолаживания. При этом сниженный вертикальный обмен благоприятствовал накоплению веществ местного происхождения в приземной атмосфере.

Применение метода радиозондирования позволило выявить многообразные аспекты влияния структуры равнинных ландшафтов на приземные воздушные течения. Оно оказалось значительно более сложным, чем простое торможение и незначительное отклонение от геострофического ветра, и при благоприятных погодных условиях — в малоградиентном барическом поле ($G = 0,5 \text{ гПа} / 100 \text{ км}$ и менее) и при сниженном вертикальном обмене (вследствие устойчивой стратификации и разнонаправленности воздушных потоков на разных высотах) — распространялось далеко за пределы ППС. Была установлена роль линеаментов и внутривпадинных структур как факторов, канализирующих воздушные потоки и формирующих устойчивые местные траектории воздушных масс. Установлено также, что особенности проявления атмосферно-геоморфологических взаимосвязей определяются циркуляционным фактором и меняются вслед за изменением сочетаний центров действия атмосферы синоптического масштаба.

Так, наиболее благоприятные для проявления геоморфологической трансформации воздушных потоков в пограничном слое (и за его пределами) синоптические условия наблюдалось в ходе второй серии запусков радиозондов — в ночь с 11 на 12 апреля, когда на центр Восточно-Европейской равнины распространилось влияние теплого и запыленного юго-восточного потока из субтропиков. Неблагоприятные условия для рассеивания загрязняющих веществ и пыли природного происхождения в этот день создавались благодаря изменению направления и

скорости ветра на разных высотах под влиянием различных форм рельефа, а также из-за наличия трех блокирующих слоев (рис. 2, рис. 3).

На основании исследования выдвинуто предположение, что погодные условия, благоприятствующие трансформации ветрового поля ППС неоднородностями ландшафтного покрова, одновременно способствуют значительному накоплению загрязняющих веществ и природных примесей в приземной атмосфере, чем объясняется тесная взаимосвязь аэрогенного загрязнения почв и снежного покрова не столько с розой ветров, сколько с геоморфологической структурой. К настоящему моменту нами изучен только один тип погодных обстановок, способствующих ландшафтно-геоморфологической трансформации приземного ветрового поля, синхронной с ухудшением гигиенического качества воздуха. Однако сходные процессы наблюдаются и при иных синоптических ситуациях (в частности, при развитии струйных течений нижних уровней). В настоящий момент исследования продолжаются, и в перспективе планируется дать эмпирическое обоснование всем таким синоптическим ситуациям.

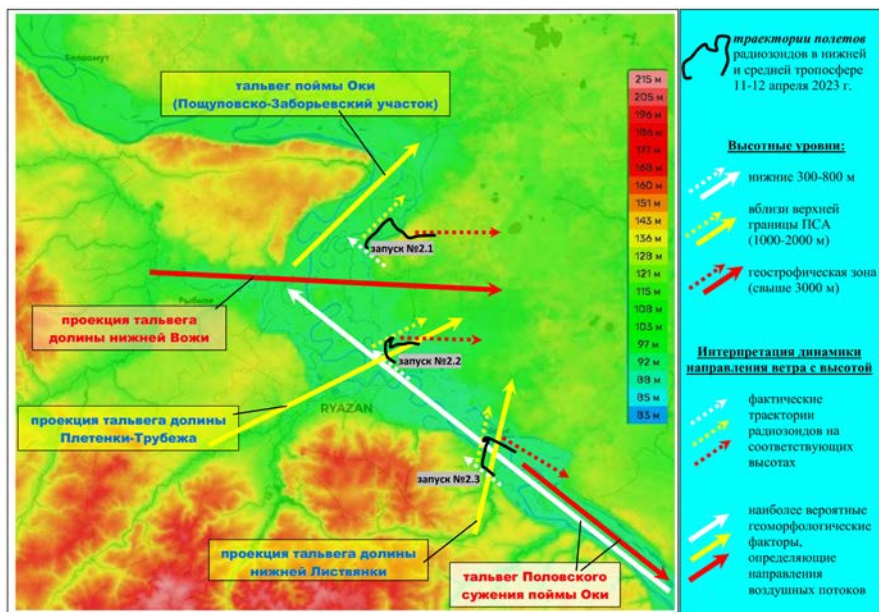


Рисунок 2. Изменение влияния ведущих ландшафтных факторов, определяющих направления траекторий радиозондов апрельской серии запусков.

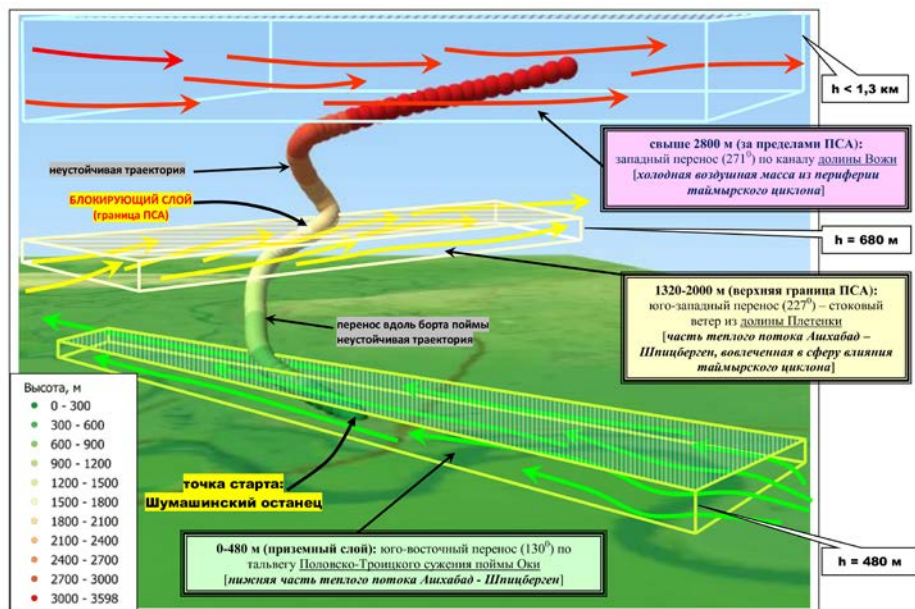


Рисунок 3. Изменение направлений ветра с высотой под влиянием геоморфологических факторов (по данным радиозондирования: запуск № 2.2).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айдосов А. А., Айдосов Г. А., Заурбеков Н. С. Модельная оценка экологической обстановки компонентов природной среды с учетом атмосферных процессов. М. : Акад. естествознания, 2018. 341 с.
2. Бызова Н. Л., Гаргер Е. К., Иванов В. Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л. : Гидрометеиздат, 1991. 278 с.
3. Замай С. С., Якубайлик О. Э. Модели оценки и прогноза загрязнения атмосферы промышленными выбросами в информационно-аналитической системе природоохранных служб крупного города. Красноярск : Изд-во Красноярского гос. ун-та, 1998. 109 с.
4. Кривцов В. А., Тобратов С. А., Водорезов А. В., Комаров М. М., Железнова О. С., Соловьева Е. А. Природный потенциал ландшафтов Рязанской области. Рязань : Ряз. гос. ун-т им. С. А. Есенина, 2011. 760 с.
5. Леженин А. А., Ярославцева Т. В., Рапута В. Ф. Мониторинг аэрозольного загрязнения снежного покрова на основе наземной и

- спутниковой информации // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2016. № 9 (7). С. 950–959.
6. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе : утв. Приказом Минприроды России от 06.06.2017 № 273. М. : Ростехнадзор, 2017. 110 с.
 7. Ступин А. Б., Оверко В. С. Влияние неоднородности рельефа на рассеивание выбросов в атмосфере // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». Донецьк : ДВНЗ ДонНТУ, 2006. Вип. 107. С. 76–80.
 8. Тобратов С. А., Железнова О. С., Поклонов А. П., Кадыров А. С. Ландшафтные факторы атмосферной миграции техногенных аэрозолей в центре Русской равнины // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли : материалы IV Байкальской междунар. науч. конф. Иркутск : Изд-во ООО «Репроцентр А1», 2022. С. 127–134.

Создание моделей направлений стока низкого разрешения на основе векторного представления гидрографической сети

М. В. Ужегов¹

¹МГУ имени М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы,
МГУ, д. 1, muzh3gov@yandex.ru

Моделью направлений стока называют регулярно-сеточную модель, в каждой ячейке которой записано направление (направления), в котором потенциальный поверхностный сток распределяется из данной ячейки в одну или несколько соседних ячеек. Модели направлений стока высокого и среднего разрешения обычно рассчитываются по цифровым моделям рельефа (ЦМР) и определяются как направления наибольшего уклона поверхности рельефа в окрестности каждой ячейки [1].

Модели направлений стока низкого разрешения используются в качестве составной части моделей Земной системы. В рамках МЗС, наряду с математическим моделированием циркуляции атмосферы, гидрологического цикла и радиационного баланса, учитывается взаимодействие климатических переменных с биохимическими процессами в биосфере, атмосфере и гидросфере, а также антропогенными процессами. МЗС применяются для краткосрочного прогнозирования погоды, а также предсказания и изучения будущих изменений климата. Направления стока низкого разрешения (сетки с размером ячейки порядка 1° и более) в рамках таких моделей применяются в блоке деятельного слоя суши для параметризации речной сети с целью расчёта характеристик поверхностного стока [2].

Основная проблема моделей направлений стока низкого разрешения состоит в том, что они не могут быть получены традиционным методом напрямую из ЦМР соответствующего разрешения, поскольку при размере ячейки порядка десятков километров на местности ЦМР не обладает детальностью, достаточной для корректного отображения элементов и форм рельефа, которые формируют поверхностный сток. В связи с этим возникает необходимость использования методик получения направлений стока, не основывающихся на ЦМР напрямую.

Предложенные на данный момент методики создания моделей направлений стока низкого разрешения можно разделить на две группы. Первая группа осуществляет генерализацию направлений стока более высокого разрешения. К ней относятся методики COTAT [3], COTAT+ [4],

NSA [5], DMM [6], VVRFRA [7]. Методики второй группы восстанавливают направления стока на сетке низкого разрешения с использованием векторных данных о гидрографической сети. Ко второй группе относятся методики [8], NTM [9], DRT [10].

Сравнительный анализ методик генерализации направлений стока COTAT, NSA и DMM показал, что наиболее достоверные модели направлений стока получаются при использовании COTAT. Этот результат достигается за счёт полноценной трассировки исходного графа направлений стока [11].

В настоящей работе производится оценка моделей направлений стока, производимых алгоритмом NTM, и сравнение с результатами, получаемыми с помощью COTAT и DRT. Алгоритм NTM определяет направления стока схожим с COTAT образом, однако трассировка производится по векторному графу гидрографической сети. Параметром моделирования, влияющим на выбор результирующего направления стока в окрестности ячейки, является порог прироста длины вышележащего потока, то есть максимального расстояния от текущей точки до одной из вершин истоков вверх по графу.

При моделировании с помощью NTM первоочередной задачей является подготовка векторных исходных данных. Алгоритм NTM обладает рядом требований к топологии исходных данных. Исходная векторная гидрографическая сеть должна быть представлена в виде ориентированного графа. Граф при этом должен быть планарным, то есть все линейные объекты гидрографической сети должны быть разделены на отдельные рёбра в местах слияния. Также граф должен иметь древовидную структуру, а ориентирование его рёбер должно совпадать с направлением течения соответствующего сегмента гидрографической сети. Помимо этого, исходные данные должны иметь плотность и детальность, достаточные для моделирования при данном размере ячейки.

В качестве основного источника данных для алгоритма NTM выбраны слои гидрографии из глобального картографического набора VMAP0 [12]. Несмотря на высокую подробность и детальность, он обладает рядом недостатков: многие водные объекты представлены полигонами, сегменты сети имеют хаотичное направление трассировки, а разветвления рек на параллельные рукава и многочисленные бифуркации не позволяют назвать эту сеть древовидной.

Приведение гидрографической сети к необходимому виду производилось в несколько этапов. Сначала из полигонального набора были удалены объекты, не относящиеся к водоёмам и водотокам (к примеру, болота или периодически затопляемые территории). Остальные полигональные объекты были подвергнуты скелетизации. Полученные центральные линии полигонов были добавлены в основной линейный слой рек. Затем были определены точки истоков и устьев сети. Истоки определялись как висячие узлы сети, а устья — как точки, в которых сегменты гидрографической сети касаются береговой линии океана или бессточных озёр. Затем по графу гидрографической сети были построены маршруты от истоков к устьям с ограничением пределами водосборных бассейнов. Полученные маршрутные линии были приведены к необходимому топологическому виду. После этого по наличию пробелов в трассированной сети были визуально определены и устранены разрывы исходной сети. В результате была получена векторная гидрографическая сеть, которая отвечает всем требованиям алгоритма NTM, при этом сохраняя пространственную конфигурацию исходных данных.

С помощью алгоритмов COTAT и NTM были рассчитаны модели направлений стока с размерами ячеек от 15' до 4°. Направления стока, рассчитанные алгоритмом DRT, были получены в готовом виде из репозитория авторов алгоритма [13]. Далее были рассчитаны метрики качества полученных моделей и произведён их сравнительный анализ. В качестве исходных данных для COTAT были использованы направления стока разрешением 15" из набора HydroSHEDS, а для NTM — подготовленная гидрографическая сеть VMAP0. Для территории Азиатской части России была использована Цифровая географическая основа ВСЕГЕИ, которая была подготовлена аналогичным образом.

Количественная оценка моделей производилась для бассейнов рек Миссисипи, Маккензи, Амазонка, Парана, Конго, Оранжевая, Волга, Лена, Янцзы.

В качестве метрик для оценки достоверности построенных моделей использованы следующие показатели: относительная ошибка площади водосборного бассейна в сравнении с эталоном, показатель геометрического подобия водосборного бассейна эталону, средняя длина линий тока до устья в пределах бассейна и отношение суммарных длин ортогональных и диагональных направлений стока.

Все алгоритмы, включая NTM, показали высокую достоверность в определении границ бассейнов при размерах ячейки 1 градус и детальнее, однако на более грубых сетках качество моделирования заметно снижается. При этом ряде случаев NTM выделяет значительно отличающиеся от эталона водосборные бассейны (рис. 1), однако это обусловлено принципиально разными исходными данными, а не недостатками самого алгоритма. При этом значительные ошибки при распределении направлений стока методом NTM внутри бассейнов крупных рек обусловлены несовершенством использованной методики подготовки данных и их в целом низким качеством.

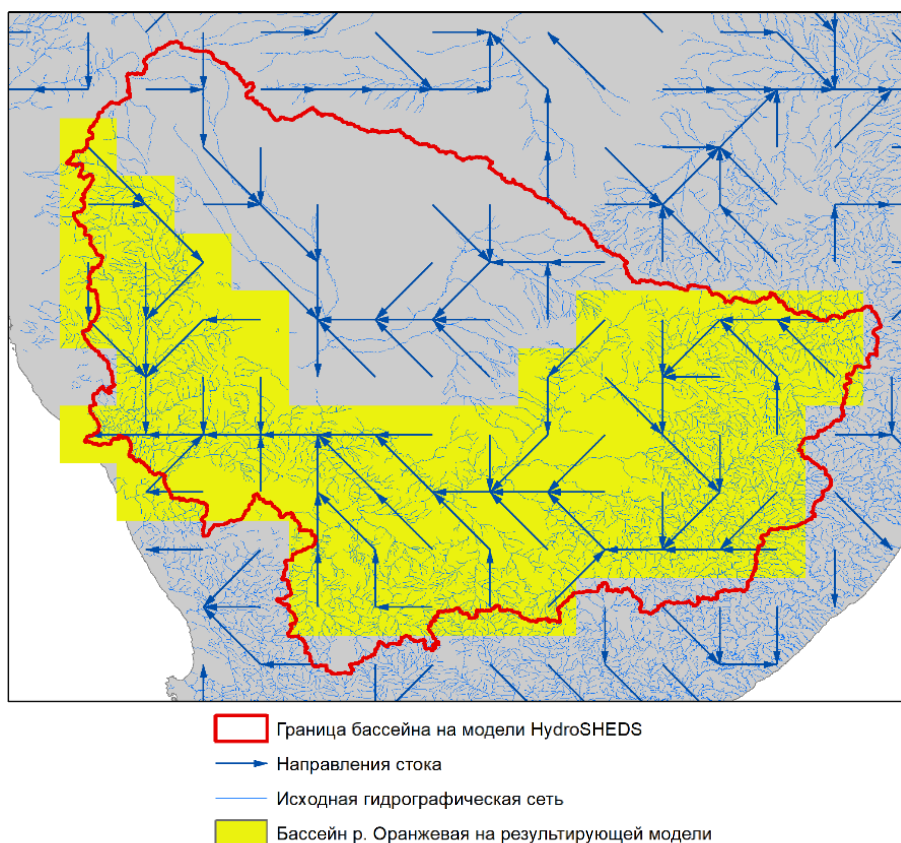


Рисунок 1. Различия в выделении бассейна р. Оранжевой, обусловленные разными исходными данными.

Алгоритм NTM имеет высокий потенциал для создания достоверных моделей направлений стока низкого разрешения на основе данных, отражающих реальную конфигурацию гидрографической сети территории, однако для этого требуются исходные данные, отвечающие всем ранее перечисленным требованиям. Существующие на данный момент открытые векторные гидрологические наборы данных, по умолчанию отвечающие этим требованиям, так или иначе получены на основе ЦМР и зачастую отражают положение не реальных, а потенциальных водотоков. Предложенная методика приведения картографических данных, относящихся к слоям гидрографии, к необходимому топологическому виду, несовершенна и решает проблему лишь частично, нередко приводя к непредсказуемым ошибкам в результирующих моделях направлений стока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O'Callaghan J. F., Mark D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data // Computer Vision, Graphics, & Image Processing. 1984. Vol. 28. P. 323–344.
2. Степаненко В. М., Медведев А. И., Корпушенков И. А., Фролова Н. Л., Лыкосов В. Н. Параметризация речной сети для модели земной системы // Вычислительные методы и программирование. 2019. Т. 20, вып. 4. С. 396–410.
3. Reed S. M. Deriving flow directions for coarse-resolution (1-4 km) gridded hydrologic modeling // Water Resour. Res. 2003. Vol. 39, issue 9. P. 1–11.
4. Paz A. R., Collischonn W., Lopes Da Silveira A. L. Improvements in large-scale drainage networks derived from digital elevation models // Water Resour. Res. 2006. Vol. 42, issue 8. P. 1–7.
5. Fekete B. M., Vörösmarty C. J., Lammers R. B. Scaling gridded river networks for macroscale hydrology: Development, analysis, and control of error // Water Resour. Res. 2001. Vol. 37, issue 7. P. 1955–1967.
6. Olivera F. [et al.]. Extracting low-resolution river networks from high-resolution digital elevation models // Water Resour. Res. 2002. Vol. 38, issue 11. P. 1–8.
7. Lucas-Picher P. [et al.]. Implementation of a large-scale variable velocity river flow routing algorithm in the Canadian Regional Climate Model (CRCM) // Atmos. Ocean. 2003. Vol. 41, issue 2. P. 139–153.

8. Mayorga E. [et al.]. Estimating cell-to-cell land surface drainage paths from digital channel networks, with an application to the Amazon basin // J. Hydrol. 2005. Vol. 315, issue 1. P. 167–182.
9. Olivera F., Raina R. Development of large scale gridded river network from vector stream data // Journal of the American Water Resources Association. 2003. P. 1235–1248.
10. Wu H. [et al.]. Automated upscaling of river networks for macroscale hydrological modeling // Water Resour. Res. 2011. Vol. 47, issue 3. P. 1–18.
11. Ужегов М. В. Генерализация растров направлений стока для создания моделей низкого пространственного разрешения // Географическое исследование в период глобальных изменений : Сборник материалов XIII Молодёжной научной школы-конференции / под ред. И. Г. Шоркунова, А. С. Добрянского, Ю. О. Карповой. Курск : ИГ РАН, 2021.
12. Vector Map Level 0 (VMAPO) [Электронный ресурс] // University of Toronto Map and Data Library. URL: <https://mdl.library.utoronto.ca/collections/geospatial-data/vector-maplevel-0-vmap0> (дата обращения: 23.05.2023).
13. Dominant River Tracing [Электронный ресурс] // University of Montana. URL: <https://www.umt.edu/numerical-terradynamic-simulation-group/project/drt.php> (дата обращения: 16.05.2023).

Новые данные о строении речных долин северного Прикаспия

В. Ю. Украинцев^{1,2}, А. В. Панин^{1,2}, А. Л. Захаров¹, И. В. Кириллова¹,
О. Н. Успенская³, Т. А. Янина⁴

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
ukraintsev@igras.ru, a.v.panin@yandex.ru, zaanleo@gmail.com,
ikirillova@yandex.ru

²Институт водных проблем РАН, 119333, Москва, улица Губкина, 3

³Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства,
140153, Московская область, Раменский район, д. Веря, стр. 500,
usp-olga@yandex.ru

⁴МГУ им. М. В. Ломоносова, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1,
didacna@mail.ru

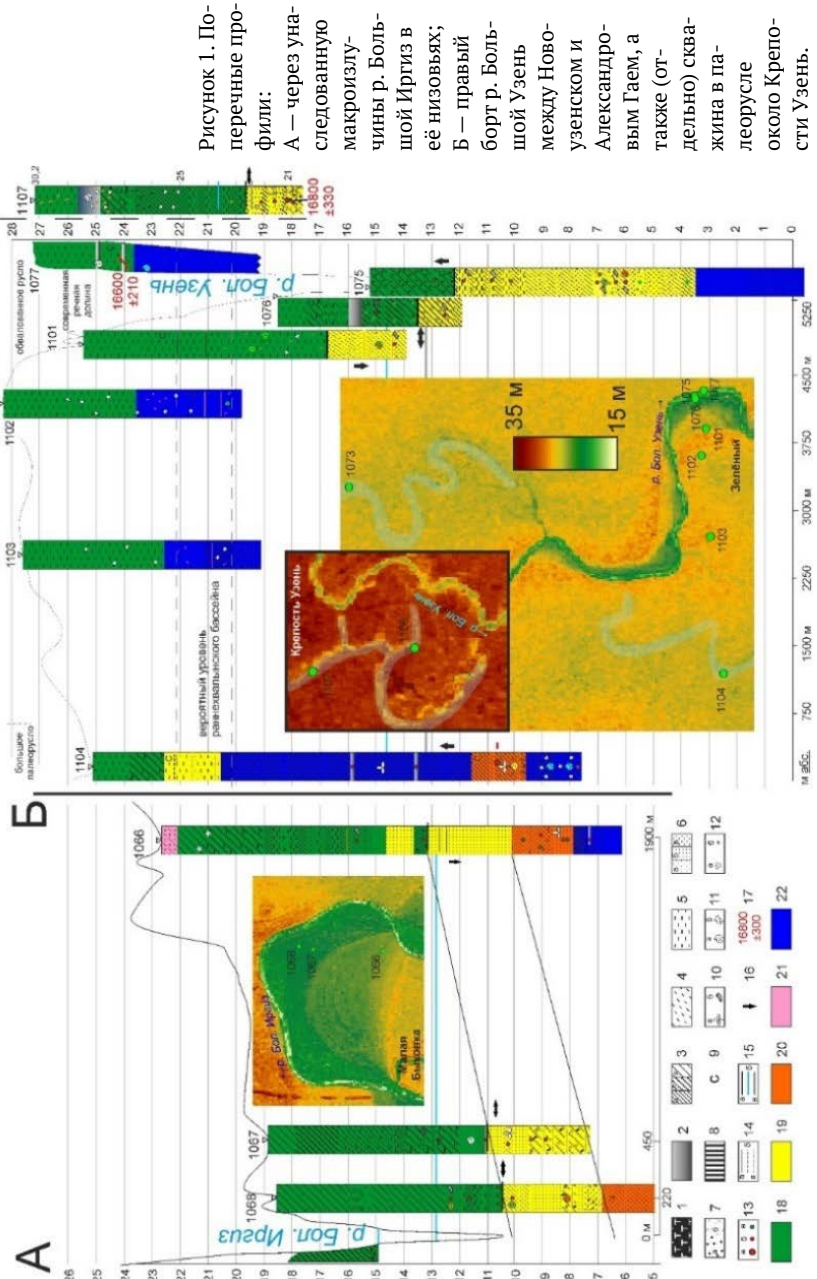
Аннотация: В долинах рек Большой Иргиз и Узень проведено бурение поздневалдайских террасовых комплексов и больших палеорусел, формировавшихся в условиях повышенного речного стока и привязанных к стадии +20...+22 м раннехвалынского бассейна. Радиоуглеродные даты по аллювию позволяют предположить, что после 16,5 тыс. л. н. уровень Каспия не поднимался выше +21...+23 м над ур. м. Повышенный речной сток способствовал небольшому врезанию при постепенной регрессии моря после 16,5 тыс. л. н. Позднее произошло более глубокое врезание, предположительно, вызванное реакцией рек на значительное падение уровня моря при енотаевской регрессии.

Введение. Большие палеоруслы на поймах и террасах рек, ширина и шаг излучин которых превышают показатели современных рек в 2 и более раз, распространены по всему Северному полушарию [3]. Они хорошо различимы на космоснимках и цифровых моделях рельефа. Широко распространены они и бассейне Каспийского моря [4]. Их размеры говорят о том, что они формировались в других ландшафтных и гидрологических условиях, способствовавших повышенному речному стоку. По одной из гипотез, именно рост речного стока, оставивший следы в виде больших палеорусел, был причиной раннехвалынской трансгрессии Каспия [5, 6]. Изучение больших палеорусел может помочь в объяснении не только причин трансгрессии, но и динамики береговой линии раннехвалынского бассейна, поскольку они встречаются на разных высотных уровнях и могли остаться в рельефе лишь в случае, если они формировались после отступления моря.

В изучении хронологии хвалынской трансгрессии в последнее время достигнут значительный прогресс. По данным люминесцентного датирования [1], в первой половине морской изотопной стадии (МИС) 2 Каспий стоял на отметках +5...+7 м над уровнем моря (н. у. м.). В период с 17 до 15 тыс. л. н. уровень моря достиг максимальных отметок, которые пока твёрдо не установлены (по классическим представлениям, +45...+50 м н. у. м.). После 15 тыс. л. н. начинается регрессия и к 14 тыс. л. н. уровень моря снижается до +11 м н. у. м. [1]. По данным [2], после 12,5 тыс. л. н. развивалась енотаевская регрессия с падением уровня моря ниже -50 м н. у. м. Эпоха обильного речного стока с формированием больших палеорусел датируется в бассейне Волги временем 17,5–14 тыс. лет назад [5].

Методика. Использовались три группы методов: полевые (бурение и геодезическая съёмка), лабораторные (радиоуглеродное датирование, малакофаунистический анализ, анализ биологических останков) и дистанционные (анализ космоснимков и ЦМР). В данном исследовании рассматриваются долины рек Большой Иргиз и Камелик, Терешка и Еруслан, Большой и Малый Узени. Всего сделано 28 скважин (механическое бурение) и изучено 2 обнажения; GNSS-приёмником измерена абсолютная высота скважин, речных террас и меженных урезов воды рек. Радиоуглеродное датирование образцов проведено в Лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ. Малакофаунистический анализ выполнен д. г. н. Т. А. Яниной (МГУ), комплексный биологический анализ выполнен к. б. н. О. Н. Успенской (ВНИИ овощеводства РАН). Палеотериологический анализ выполнен к. г. н. И. В. Кирилловой (ИГ РАН). Дистанционные методы включали в себя поиск следов палеорусловой динамики на космоснимках Bing и ESRI и на цифровой модели рельефа ALOS 3D.

Результаты. В долине Большого Иргиза изучены палеорусло-старица и унаследованное палеорусло, в котором пробурено три скважины в различных частях шпоры макроизлучины. Расчленению отложений помогло наличие раковин и органических останков. Обе излучины, судя по высоте палеорусел, развивались уже после максимальной стадии раннехвалынской трансгрессии. Исходя из положения кровли русловой фации аллювия, которое помог установить малакофаунистический анализ, рост унаследованной излучины сопровождался последовательным её углублением (врезанием) (рис. 1а).



Обозначения к рисунку 1.

1 — торф, оторфованность; 2 — почва, органо-минеральный грунт; 3 — суглинок (а — тяжёлый, б — средний, в — лёгкий); 4 — оглинённость; 5 — алевроит, алевроитистость; 6 — песок (а — тонкий, б — мелкий-средний, в — крупный-грубый), опесчаненность; 7 — гравий (а — обломки соотв. цвета, б — глинистый); 8 — коренные породы/морские четвертичные отложения; 9 — дополнительное обозначение для слоистости; 10 — органика (а — растительная, б — древесная), 11 — ракуша (а — цельная, б — обломки; результаты малакофаунистического анализа: салатный цвет — застойные условия; рыжий — проточные; голубой — морские); 12 — включения (а — новообразования известняка и гипса, б — слюда); 13 — образцы (радиоуглеродное датирование: а — сцинтиляционное, б — AMS; в — на анализ биологических остатков: красный контур — не обнаружены, зелёный — обнаружены, ярко-зелёный — палеопочва; 14 — прослои (а — суглинка, б — алевроита, в — песка); 15 — уровни (а — кровля русловой фации больших палеорусел, б — меженный уровень реки, в — дно современной реки); 16 — направленность вертикальных русловых деформаций после формирования больших палеорусел (стрелка вверх — аккумуляция, стрелка вниз — врезание, горизонтальная стрелка — стабильное положение); 17 — калиброванные ^{14}C даты. Генезис отложений: аллювий: 18 — фация заиления, пойменные, 19 — русловая фация, 20 — древний (первая половина MIS 2/MIS 3 и старше); 21 — покровные (склоновые, золовые), 22 — морские.

Бассейн Большого Узенья соседствует с бассейном Малого Узенья и Камелика. Пробурены две старицы в среднем течении, в них подстилающие отложения расположены на большой глубине (не менее 12,5 м). Исходя из данных малакофаунистического анализа, раковины из переслаиваний суглинков и алевроитов с грубозернистыми песками на глубине более 10 м переотложены. Кровля русового аллювия больших палеорусел расположена на высоте 21,5–23,5 м н. у. м. Из русового аллювия в скважине 211107 на глубине 9 м (21,2 м н. у. м.) отобраны растительные остатки, возраст которых составил около 16,8 тыс. лет (рис 1Б справа и ЦМР на врезке).

В долине Большого Узенья между Новоузенском и Александровым Гаём пробурено несколько скважин в больших палеоруслах и устьевых палеопотоках, относящихся к древней дельте реки, которая, по-видимому, была привязана к стадии раннехвалынского бассейна +20...+22 м н. у. м. Наиболее информативным оказался буровой профиль через правый борт долины (рис. 1Б). В обнажении 1077 левого борта долины, где излучина реки подрезает левый борт, вскрываются два тёмных прослоя, похожих на палеопочвы, и два прослоя с раковинами. На высоте 24 м н. у. м. была обнаружена левая бедренная кость взрослой особи крупной лошади, *Equus sp.*, ^{14}C возраст которой составил около

16,6 тыс. лет. Чуть ниже неё, на высоте 23 м н.у.м., обнаружены раннехвалынские морские виды раковин *Didacna ebersini*, *Didacna parallela (protracta)*, *Hypanis plicata*. Верхний прослой раковин (залегающий, предположительно, в пойменном аллювии реки) и тёмные прослои не изучены. В скважине 1073 на глубине почти 7 м ($\approx 18,5$ м н. у. м.), где в близлежащих скважинах залегают морские отложения, при визуальном анализе керна выделена палеопочва. Это подтвердилось по данным анализа биологических остатков, включавших несколько фрагментов мха *Sphagnum* sect. *Cuspidata* и других высших растений.

Обсуждение результатов. Наличие дат около 16,6–16,8 тыс. л. н. по органическим остаткам в аллювии Большого Узенья на высоте 21–23 м н. у. м. говорит о том, что после 16,5–17 тыс. л. н. уровень Каспия не поднимался выше этих высот, несмотря на то, что в бассейне Волги вплоть до 14 тыс. л. н. реконструируется повышенный речной сток [5]. Уровень моря после максимальных отметок мог упасть до высот 18–17 м н. у. м. — именно на такой высоте обнаружена палеопочва в скважине 211073, которая, судя по данным анализа биологических остатков, формировалась во влажных условиях, вероятно, вблизи водоема. На близкой высоте находится широкая (более километра) терраса в шпоре Большого Иргиза (предыдущая, шириной не более 500 м, — на высоте 23–24 м; рис. 1А) — река не могла врезаться ниже уровня приёмного бассейна, происходили широкие горизонтальные деформации русла. На таких же высотах находится подошва русловых отложений устьевых палеопротоков Большого Узенья. Падение уровня моря могло быть спровоцировано не только снижением стока Волги, но и прорывом перешейка Зунда Толга с образованием Манычского пролива [6].

На поперечных профилях (рис. 1А, Б) видно, что основное углубление речных долин произошло уже после формирования макроизлучин рек: узкий и глубокий врез, на дне которого расположена современная река, соответствует положению бывшего русла макроизлучин, а шпоры макроизлучин (бывшая пойма в их внутренних частях) представляют собой террасовый комплекс, расположенный высоко над современной рекой. Эти террасы местами образуют серии ступеней с небольшой амплитудой высот. Современное русло внутри вреза образует излучины малых размеров, признаков продолжения искривления макроизлучин после врезания нет. Из этого можно заключить, что по мере развития макроизлучин происходило небольшое по величине врезание рек, но основное

врезание произошло уже по окончании их формирования. Рост речного стока всегда приводит к врезанию рек вследствие адаптации продольного профиля. Однако на изученном участке долины Большого Узенья нередко большие палеорусла без признаков глубокого врезания (например, отмеченные скважиной 1104 на карте рис. 1Б и 1073). Вероятно, на начальных этапах формирования больших палеорусел врезание рек сдерживалось высоким положением приемного бассейна — Каспия. Последние по времени формирования макроизлучины рек уже обнаруживают следы небольшого врезания, что можно трактовать как признак постепенного снижения уровня моря (базиса эрозии). Однако наиболее сильное врезание рек произошло уже по окончании формирования макроизлучин и его можно предположительно связывать с более глубоким падением уровня моря, которым могла быть енотаевская регрессия.

Выводы. Предварительно, после 16,5 тыс. л. н. уровень Каспия не поднимался выше +21...+23 м н. у. м., несмотря на то, что в изученных бассейнах и в бассейне Волги в целом вплоть до 14 тыс. л. н. продолжалась эпоха обильного речного стока. Углубление речных долин началось в конце времени формирования больших палеорусел, но основное врезание рек произошло уже когда формирование макроизлучин было закончено, т. е. по окончании эпохи обильного речного стока. Основная причина врезания рек — изменения уровня моря. Его стабильное положение сначала сдерживало врезание. Вероятно, после 16,5 тыс. л. н. море начало постепенно отступать, что вызвало небольшое врезание в условиях продолжавшегося обильного стока. Основное углубление речных долин можно предположительно связывать с более глубоким падением уровня моря — енотаевской регрессией.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ-19-17-00215п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Курбанов Р. Н., Беляев В. Р., Свистунов М. И., Бутузова Е. А., Солодовников Д. А., Таратунина Н. А., Янина Т. А. Новые данные о возрасте раннехвалынской трансгрессии Каспийского моря // Известия РАН. Серия геогр. 2023. Т. 87, № 3. С. 403–419.
2. Макшаев Р. Р., Ткач Н. Т. Хронология хвалынского этапа развития Каспия по данным радиоуглеродного датирования // Геоморфология и палеогеография. 2023. Т. 54, № 1. С. 26–34.

3. Сидорчук А. Ю., Панин А. В. Геоморфологические подходы к оценке величины речного стока в геологическом прошлом (ст. 1. Морфометрические зависимости) // Геоморфология. 2017. № 1. С. 55–65.
4. Украинцев В. Ю. Следы мощного речного стока в долинах рек бассейна Волги в поздневалдайскую эпоху // Геоморфология. 2022. Т. 53, № 1. С. 26–34.
5. Gelfan A., Panin A., Kalugin A., Morozova P., Semenov V., Sidorchuk A., Ukraintsev V., Ushakov K. Hydroclimatic processes as the primary drivers of the Early Khvalynian transgression of the Caspian Sea: new developments // Hydrology and Earth System Sciences. 2023. In press.
6. Sidorchuk A. Y., Panin A. V., Borisova O. K. Morphology of river channels and surface runoff in the Volga river basin (East European Plain) during the Late Glacial period // Geomorphology. 2009. Vol. 113, no. 3-4. P. 137–157.

**Реликты позднеплейстоценового педогенеза
в послеледниковых отложениях Суздальского плато**

Л. С. Фролова¹, И. Г. Шоркунов², Е. В. Гаранкина¹,
Е. Д. Шеремецкая², В. А. Лобков²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, l.frolova2000@gmail.com

²Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

Эволюция поверхностных почв послеледниковых ландшафтов центра Русской равнины проходила в условиях контрастного рельефообразования, обусловленного нерегулярными циклами денудации, седиментации, педо- и криогенеза в позднем плейстоцене и голоцене. На ключевом участке «Гнездилово» Суздальского плато в детально исследованных разрезах агродерново-подзолистых и агросерых почв выделены и разграничены группа морфологических признаков голоценового и реликтового доголоценового педогенеза. В целях стратиграфического сопоставления выявленных разновозрастных педогенных признаков был заложен буровой профиль по привершинным поверхностям нижнего яруса междуречий, прослеживающий уровни позднеплейстоценовых палеопочв от опорных разрезов региона: верхнепалеолитической стоянки Сунгирь и Боголюбовского карьера. Нижний уровень почвообразования, относимый к салынской фазе мезинского педокомплекса, представлен серией слабо развитых элювиальных и субэлювиальных горизонтов в слюдистых алевритах комплекса позднемосковско-микулинских аллювиальных отложений. Горизонты салынской фазы педогенеза выклиниваются в северной части бурового профиля на Суздальском плато. Выше залегает уровень темноцветных педоседиментов с повышенным содержанием углистого материала, соотносимый с крутицкой фазой мезинского педокомплекса. Третий уровень позднеплейстоценового педогенеза связан с сунгирской (брянской) палеопочвой, развитой в средне-тяжелосуглинистых озерно-лужевых и склоновых осадках. Эти палеопочвы хорошо воспроизводятся во всех скважинах бурового профиля. Венчает комплекс послеледниковых отложений голоценовая почва на субаэральных эоловых и склоновых осадках. Выделенная на ключевом участке исследования группа наиболее ранних реликтовых признаков хорошо коррелирует с уровнем сунгирской (брянской) палеопочвы. Вторая группа реликтов развита с более молодой погребенной

поверхности, представлена комплексом темно-серых глинистых выполнений системы плоских пор — срезанных и погребенных склоновыми осадками позднеледникового возраста и/или срезанных и экспонированных на дневную поверхность. Предполагается соотнесение выделенных признаков с трубчевским уровнем педогенеза.

Стратиграфическая последовательность почв и седиментов ключевого участка «Гнездилово» коррелирует с осадками опорных разрезов Боголюбовского карьера и верхнепалеолитической стоянки Сунгирь. Показано наличие выраженного педогенного этапа времени последней дегляциации (19–16 тыс. лет назад) в поздневалдайских эловых осадках. На ключевом участке нижний уровень почвообразования представлен погребённой брянской палеопочвой второй половины средневалдайского мегаинтерстадиала. Брянская палеопочва прослеживается от опорных разрезов к ключевому участку через весь буровой профиль, что подтверждает непрерывность ее пространственного распространения в составе послеледниковых осадков на всех ярусах междуречий Владимир-Суздальского Ополя.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 23-17-00073.

Моделирование поля аккумуляции горного ледника на основе данных многолетних наблюдений

А. М. Чеховских¹, В. В. Поповнин¹

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
географический факультет, 119991, Москва, Ленинские горы, 1,
chegovskiy.medved@yandex.ru

В настоящее время на планете прямыми масс-балансовыми исследованиями охвачено лишь около 500 горных ледников, постоянные ежегодные измерения баланса массы проводятся чуть более чем на 150 ледниках по всему миру, а ряд наблюдений более 30 лет имеют только 42 «опорных» ледника [1]. Мониторинг баланса массы и анализ компонентов внешнего массообмена ледников остается важнейшей фундаментальной проблемой гляциологии, при этом существующие трудности в распространении измерений на большее число ледников подталкивают к более интенсивному использованию данных дистанционного зондирования и совершенствованию методики косвенных статистических расчетов на основе данных многолетних наблюдений.

Снегонакопление на поверхности ледника происходит под действием ряда факторов, связанных с климатическими, метеорологическими условиями, особенностями рельефа территории и характером поверхности ледника. В результате взаимодействия многочисленных природных процессов различного уровня и масштаба ежегодно формируются уникальные в ряду наблюдений поля аккумуляции. Применение полей для многофакторного анализа и построения синтетических карт позволяет наблюдать пространственно-временные изменения величин или явлений и оценивать степень подобия полей.

Теоретические исследования гляциологических полей и результаты оценки устойчивости полей масс-балансовых величин горных ледников сформировали основу теории подобия полей внешнего массообмена горного ледника, разработанной сотрудниками Ледникового отряда географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова на леднике Джанкуат (например, [2]).

Ледник Джанкуат, расположенный на северном макросклоне Центрального Кавказа в долине Адыл-Су, является опорным (репрезентативным) ледником Большого Кавказа, самым изученным ледником России и одним из самых изученных гляциологических объектов в мире.

С момента организации ежегодных наблюдений по программе МГД в 1965–1974 гг. прямые масс-балансовые наблюдения никогда не прерывались. Ледник Джанкуат относится к морфологическому типу простых долинных ледников, имеет ступенчатый продольный профиль и объединяет 4 ледяных потока. Сложная морфологическая структура поверхности ледника, отмеченная в МГД, выявила необходимость выделения на поверхности ледника участков, обладающих схожей экспозицией, крутизной и лежащих в определенных высотных интервалах [3]. В настоящее время на леднике сформировано 13 ВМЗ (рис. 1).

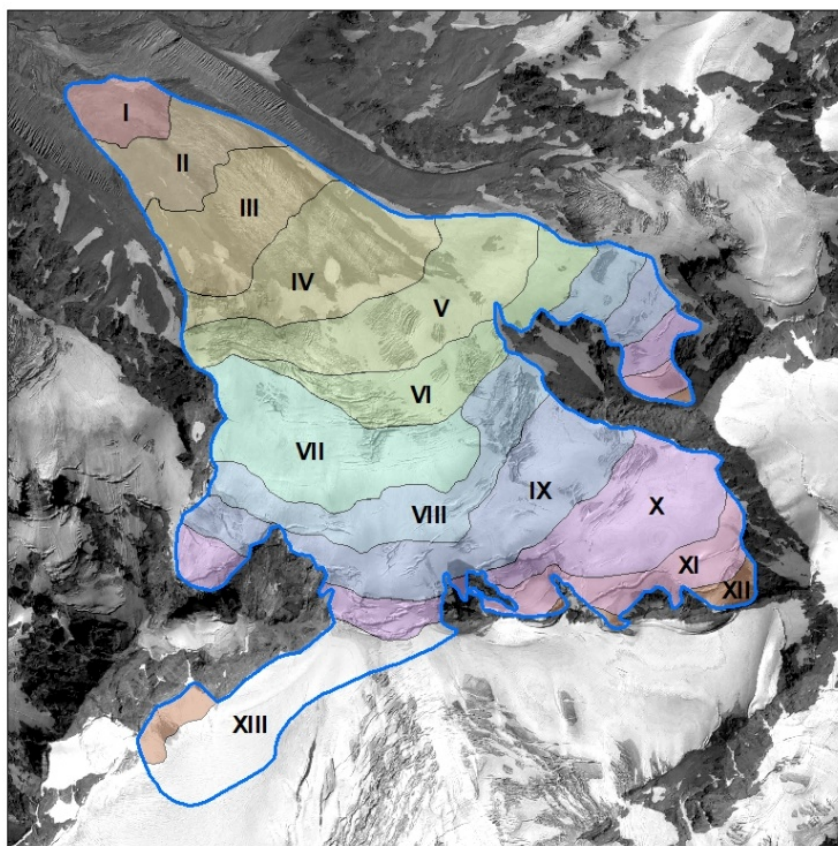


Рисунок 1. Схема высотно-морфологических зон ледника Джанкуат.
Номера зон показаны римскими цифрами.

Первоначальным этапом построения поля аккумуляции является измерение максимального водозапаса снежного покрова методом площадной снегомерной съемки, проходящей в конце сезона аккумуляции в преддверии начала таяния. Снегосъемка покрывает практически всю доступную для прохождения площадь ледника. Точками снегосъемки являются хаотично распределенные на поверхности ледника пункты, в каждом из которых с помощью многосекционного свинчивающегося металлического щупа определяется расстояние от поверхности снежного покрова до поверхности ледникового льда. Кроме измерения толщины снежного покрова для расчета водозапаса необходимо иметь сведения о его стратиграфии и плотности.

Для изучения стратиграфии и измерения плотности одновременно с весенней снегосъемкой в момент максимума водозапасов проводится шурфование снежного покрова. В заключение, с учетом плотности соответствующих слоев и их вертикальной протяженности производится расчет водозапаса снежного покрова, выраженный в г/см², м вод. экв. или мм вод. экв. Данные по водозапасу экстраполируются на всю площадь ледника с учетом зональных, высотных и морфологических особенностей поверхности ледника.

В связи с тем, что пункты снегосъемки год от года не повторяют своего местоположения, для сопоставления разновременных полей аккумуляции использована местная система координат, точкой отчета которой является вершина г. Джантуган. Относительно неё в направлении севера и запад-восток на физическую проекцию ледника наложена сетка квадратов со стороной 50 м. Нумерация пересечений линий сетки (узлов) сплошная, начинается из нижних ВМЗ к верхним ВМЗ, а нумерация точек в каждой ВМЗ начинается с наибольших высот в сторону более низких. После построения координатной сетки в каждый узел сетки осуществляется интерполяция или экстраполяция значений водозапаса из всех ближайших снегомерных пунктов или исходя из с учетом зональных, высотных и морфологических особенностей поверхности ледника. На недоступных, опасных и крутых участках попадающим точкам присваиваются среднезональные значения аккумуляции.

Современные климатические изменения ведут к постоянному изменению границы ледника, морфологии и высоты его поверхности. Вследствие этого число узлов сетки квадратов непостоянное: в разные периоды с 1976 по 2009 гг. ледник Джанкуат покрывали 934–1073 узла.

При анализе полей, построенных на основе длительного ряда наблюдений, сопровождавшегося изменением площади ледника, в качестве внешней границы полей принимается наименьший по площади контур ледника и соответствующее ему расположение ВМЗ. Не вошедшие в этот контур узлы сетки отсекаются и не участвуют в расчетах.

Первичное сопоставление и визуальный анализ полей аккумуляции свидетельствуют о чертах подобия ежегодного распределения максимумов и минимумов водозапаса на леднике (рис. 2). Наиболее очевидной закономерностью является рост аккумуляции с высотой. Помимо этого, постоянные максимумы аккумуляции наблюдаются в тыловых частях верхнего, среднего и нижнего цирков, на плато и у основания ледопада, в мультискобических формах мезорельефа.

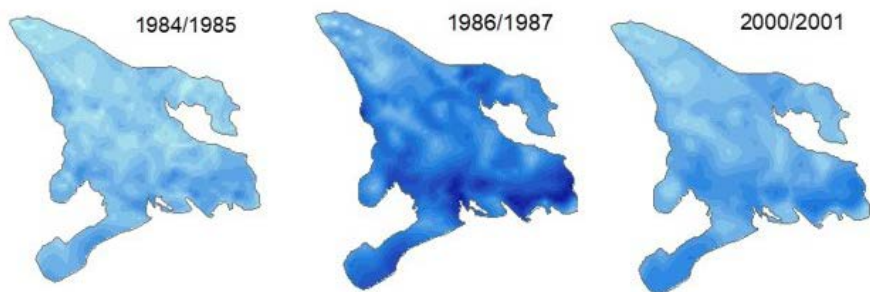


Рисунок 2. Поля аккумуляции ледника Джанкуат в указанные сезоны.

Пониженные снегозапасы обнаруживаются на выпуклостях рельефа, на ледопадах, фирново-ледовой облицовке, склонах максимальной крутизны. На фоне перечисленных закономерностей в пределах ледника существуют участки с аномальной изменчивостью снегозапасов — зоны распространения моренного покрова.

Наличие продолжительного ряда данных по снегонакоплению на леднике Джанкуат является существенным преимуществом при моделировании поля аккумуляции и последующем анализе фактически измеренных и реконструированных полей. Моделирование поля аккумуляции одновременно включает и пространственную, и временную компоненты, позволяя проводить исследование изменчивости поля аккумуляции по нескольким сценариям.

Первый способ моделирования поля аккумуляции, когда целью ставится расчет величины ледниковой аккумуляции (средней по всей

площади ледника), заключается в использовании корреляционных связей между точечными, зональными и ледниковыми значениями аккумуляции. Для определения устойчивости внутренней структуры поля аккумуляции используется 3 типа связи: коэффициент корреляции $R_1 = r\{C_{ai}; C_i\}$, связывающий значения в каждом узле регулярной сети со средней аккумуляцией данного года по всему леднику, коэффициент корреляции $R_2 = r\{C_{ai}; C_{zi}\}$ позволяет изучить стабильность аккумуляции в узле сетки квадратов относительно среднезональной аккумуляции, в которую он попадает, коэффициент корреляции $R_3 = r\{C_n; C_m\}$, где n и m — узлы сетки квадратов.

В данном эксперименте производится методика и расчет поля аккумуляции 2008/09 сезона по единственной точке (узел № 217) с известной измеренной величиной аккумуляции (2070 мм вод. экв.). Узел располагается в верхней части языка ледника (IV ВМЗ) на пологой, субгоризонтальной поверхности. Начальным условием для расчетов принимается то утверждение, что корреляционная связь между рядами данных считается устойчивой при $R > 0,70-0,75$, и проводится первичный отсев среди связей R_2 и R_3 . На втором этапе из выборки удаляются те пространственные связи между точками, которые соседствуют в сетке квадратов (расстояние между ними не превышает 95 м), но расположены в разных ВМЗ. Следующим этапом осуществляется ранжирование связей типа R_2 и R_3 , позволяющее оценить наиболее предпочтительные пространственные связи и составить последовательные цепи из них. В связи с тем, что точка № 217, располагается не в крайней ВМЗ (I или XIII ВМЗ), направление связей из нее выходит одновременно в двух направлениях: вниз и вверх по ВМЗ. Кроме последовательного соединения связями ВМЗ, возможно сочетание лучевой и последовательной структуры, когда концы некоторых лучей являются заключительными точками цепочки и дальнейшее продолжение расчетов происходит по другому пути. В ходе эксперимента замечено, что при прокладке цепи между двумя удаленными узлами возникают альтернативные маршруты: в них может различаться количество промежуточных звеньев, величины связей R_2 и R_3 . Поэтому среди них необходим дополнительный отбор по следующим условиям: наименьшее количество промежуточных пунктов при максимальных величинах R_2 и R_3 . Возможен такой сценарий, что связь R_1 описывает поле аккумуляции точнее, чем при использовании цепи связей R_2

и R_3 , однако в представленном эксперименте это предположение не подтвердилось.

В ходе построения цепи от узла № 217 было отобрано 16 наилучших пространственных связей, покрывающих все ВМЗ. Позднее были отсеяны 4 дублирующие связи, проходящие в обход «прямого» пути между точками через «лишние» промежуточные пункты. Таким образом, в расчетах использованы 12 пространственных связей.

Расчет значений аккумуляции производился на основе уравнения регрессии вида $Y = kX + b$ в следующем порядке: сначала последовательно рассчитаны точечные значения аккумуляции в разных ВМЗ относительно узла № 217, затем на основе известных узловых значений аналогично вычислены зональные величины аккумуляции. После осреднения 13 зональных значений получено ледниковое значение аккумуляции равное 2365 мм вод. экв. и отличающееся от измеренной величины на 12 мм вод. экв. (отклонение 0,5%).

Второй способ моделирования не использует анализ корреляционных связей, а лишь представляет собой лучевую структуру поля, где от узла с известным измеренным значением аккумуляции на основе уравнений регрессии одновременно происходит моделирование всего поля аккумуляции. Данный подход более полезен при анализе площадного распределения аккумуляции и выявления пространственных закономерностей.

Картографирование полей аккумуляции и исследование их изменчивости во времени и пространстве имеет не только теоретическое научное значение, но и практическую значимость. Выявление участков ледника с наибольшей и наименьшей степенью устойчивости поля аккумуляции способствует оптимизации полевых работ. Это объясняется тем, что на леднике можно выделить ареалы с наибольшей изменчивостью значений аккумуляции, требующие постоянного (ежегодного) мониторинга, при уменьшении количества и периодичности измерений на более устойчивых год от года участках. Кроме сокращения объема гляциологических работ результаты исследования могут быть использованы для корректного расчета компонентов баланса массы ледника в случае невозможности проведения полноценных полевых работ.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-17-00133.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поповнин В. В. Поле аккумуляции горного ледника // МГИ. 2000. № 88. С. 16–29.
2. Ледник Джанкуат. Л. : ГИМИЗ, 1978. 181 с.

Палеоэкологическая реконструкция динамики болотной экосистемы в северной подзоне тайги (Кольский полуостров) в голоцене по данным спорово-пыльцевого, ботанического и ризоподного анализов

А. Д. Чулей¹, Н. Г. Мазей¹, А. Н. Цыганов¹, Ю. А. Мазей¹

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 119991, Москва, Ленинские горы, 1, Artem957148@yandex.ru

Влияние климатических изменений на экосистемы является одной из наиболее актуальных проблем современной экологии. Однако для того, чтобы понять, как естественные экосистемы будут реагировать на увеличивающуюся нестабильность климата, важно понимать, как природные экосистемы реагировали на изменения условий среды в прошлом. Подобная оценка становится возможной благодаря использованию методов палеоэкологии.

Для того, чтобы реконструировать процессы формирования и развития болотной экосистемы в северной подзоне тайги в течение голоцена, мы применяли метод комплексный реконструкции (спорово-пыльцевой, ботанический, ризоподный анализы, радиоуглеродное датирование и стратиграфический анализ торфяных залежей). Совместное использование независимых методов позволяет оценить влияние изменения различных факторов (температуры, влажности) на развитие экосистемы [1]. Более того, будучи индикаторами различных уровней, спорово-пыльцевой анализ (маркирует региональные изменения ратсительности и температуры), ботанический анализ (локальные изменения растительности) и ризоподный анализ (локальные изменения влажности) показали свою эффективность при совместном использовании на территории болотных комплексов арктической зоны [2].

Цель работы — реконструировать динамику формирования и развития болотной экосистемы в течение голоцена по результатам анализа торфяной залежи на Кольском полуострове с использованием спорово-пыльцевого, ризоподного и ботанического анализов.

Для палеоэкологической реконструкции было выбрано болото в окрестностях г. Апатиты (67.46239° с. ш.; 33.45513° в. д.). В ходе исследования был отобран торфяной керн мощностью 140 см с помощью ручного торфяного бура. Керн был разрезан на последовательные образцы толщиной 2 см. Определение возраста отложений проводили с помощью

радиоуглеродного датирования (^{14}C AMS, Институт геохимии Китайской академии наук) шести образцов. Образцы торфа для спорово-пыльцевого, ботанического и ризоподного анализов были приготовлены в соответствии со стандартными методиками [3, 4, 5]. Статистический анализ полученных результатов проводили в программе R.

В соответствии с результатами радиоуглеродного датирования, нижние образцы датируются периодом от 8542 калиброванных лет назад до настоящего времени, т. е. охватывает большую часть голоцена, начиная с конца бореального периода и заканчивая современностью [6]. Для данной территории характерна достаточно низкая средняя скорость накопления торфа (около 1 см за 60 лет) при оценочных средних значениях данного параметра для Северного полушария значениях $20 \text{ лет} \times \text{см}^{-1}$ [7].

По результатам ботанического анализа состава торфа в отложениях можно выделить две зоны. На протяжении первой зоны (140–18 см, от 8542 до 953 калиброванных лет назад) достаточно обильными были макроостатки бурых мхов и осок. Граница между зонами маркируется практически полным исчезновением из спектра остатков осок и появлением в больших количествах остатков различных частей *Sphagnum*, который является типичным обитателем верховых и переходных болот, а его появление в спектре макроостатков свидетельствует об активных процессах торфообразования.

Спорово-пыльцевой анализ позволяет выделить четыре различные зоны в исследуемой залежи. Для Зоны 1 (140–110 см, от 8542 до 6920 кал. л. н.) характерно преобладание пыльцы древесных растений, которая составляет более 95% пыльцевого спектра. Наибольшее обильны пыльцевые зерна сосны (*Pinus sylvestris*) — 58% и берёзы (*Betula* spp.) — 28%. Более того, встречается много спор плаунов и папоротников, что свидетельствует о достаточно высокой влажности территории. В Зоне 2 (110–60 см, от 6920 до 3372 кал. л. н.) на фоне увеличивающейся засушливости региона и роста температур происходит еще большее увеличение обилия пыльцы древесных растений, за счёт снижения обилия травянистых и споровых растений. Для Зоны 3 (60–11 см, от 3372 до 542 кал. л. н.) характерны признаки увеличения засушливости, но происходит понижение температуры, что видно, например, по значительному увеличению доли пыльцы холодостойких ели (*Picea* sp.) и полыни (*Artemisia* sp.). В Зоне 4 (11–0 см, от 542 к. л. н. до настоящего времени) фиксируется

резкий всплеск доли спор *Sphagnum* и пыльцы вересковых (Ericales), что свидетельствует о значительном закислении среды и процессах заторфовывания.

По результатам последовательного кластерного анализа видового состава субфоссильных сообществ раковинных амёб в торфяной залежи может быть выделено четыре зоны. Первая зона (140–50 см, от 8542 до 2898 кал. л. н.) достаточно чётко демонстрирует преобладание мелких гидрофильных видов. Во второй зоне (50–20 см, от 2898 до 1077 кал. л. н.), происходит последовательный переход от влаголюбивых видов к более засухоустойчивым видам. В третьей зоне (20–10 см, от 1077 до 463 кал. л. н.) отмечается значительное количество, как мелких засухоустойчивых видов, так и более крупных типично сфагнобионтных видов. В четвёртой зоне (10–0 см, от 463 кал. л. н. до настоящего времени) доминирующими в сообществах становятся практически исключительно крупные типично сфагнобионтные виды.

Значительное количество пыльцы сосны и берёзы свидетельствует о достаточно тёплых условиях и преобладании сосновых лесов с примесью березы на территории Кольского полуострова на протяжении большей части голоцена. Значительная доля спор плаунов и преобладание бурых мхов и осок в составе макроостатков в ранние периоды свидетельствует о достаточно влажных условиях. Можно предположить, что развитие рассматриваемой экосистемы началось с открытые водные пространство (наиболее вероятно, озер). Далее, с возрастанием температур и увеличением засушливости района, озеро начало зарастать, что видно по смене открыто водной растительности через *Selaginella* к наземной растительности. Ризоподный анализ демонстрирует закономерную смену сообществ раковинных амёб с доминирования гидрофильных групп через более засухоустойчивым к совместному доминированию ксерофильных и типично сфагнобионтных видов в период формирования болотной экосистемы, начало которого также отчётливо фиксируется по резкому увеличению доли сфагновых мхов в спектре макроостатков, сменяющих остатки бурых мхов и осок. Это картина хорошо соотносится с предыдущими палеоэкологическими реконструкциями смежных территорий [8]. Таким образом, комплексное использование различных методов палеореконструкций оказывается полезным при изучении арктических территорий и позволяет фиксировать изменения условий окружающей среды на разных масштабах.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФ № 19-14-00102.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bunbury J., Sarah A., Finkelstein S. A., and Bollmann J. Holocene hydro-climatic change and effects on carbon accumulation inferred from a peat bog in the Attawapiskat River watershed, Hudson Bay Lowlands, Canada // Quaternary Research. 2012. Vol. 78. P. 275–284.
2. MacDonald G. M., Beilman D. W., Kremenetski K. V., Sheng Y. W. S. L. C., and Velichko A. A. Rapid early development of circumarctic peatlands and atmospheric CH₄ and CO₂ variations // Science. 2006. Vol. 314. P. 285–288.
3. Moore P. D., Webb J. A., Collison M. E. Pollen Analysis. 2nd ed. Oxford, UK : Blackwell, 1991.
4. Birks H. H. Plant macrofossil introduction // Encyclopedia of quaternary science. 2007. Vol. 3. P. 2266–2288.
5. Mazei Y. A., Chernyshov V. A. Testate amoebae communities in the southern tundra and forest-tundra of Western Siberia // Biology Bulletin. 2011. Vol. 38. P. 789–796.
6. Mangerud J. A. N., Andersen S. T., Berglund B. E., & Donner J. J. Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification // Boreas. 1974. Vol. 3. P. 109–126.
7. Goring S., Williams J. W., Blois J. L., Jackson S. T., Paciorek C. J., Booth R. K., Marlon J. R., Blaauw M., Christen J. A. Deposition times in the northeastern United States during the Holocene: establishing valid priors for Bayesian age models // Quaternary Science Reviews. 2012. Vol. 48. P. 54–60.
8. Babeshko K. V., Shkurko A., Tsyganov A. N., Severova E. E., Gaika M., Payne R. J., Mazei Y. A. A multi-proxy reconstruction of peatland development and regional vegetation changes in subarctic NE Fennoscandia (the Republic of Karelia, Russia) during the Holocene // The Holocene. 2021. Vol. 31. P. 421–432.

Влияние пожаров на эволюцию лесных и болотных геосистем Центральной Эвенкии в голоцене

А. Е. Шатунов¹, Е. Ю. Новенко^{1, 2}, Н. Г. Мазей²

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29

²МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, Ленинские горы, 1

Введение. Ретроспективный анализ эволюции геосистем позволяет изучить их долгосрочный отклик на региональном уровне на антропогенные воздействия и современные изменения климата [1]. Пожары — важный фактор, оказывающий существенное влияние на развитие ландшафтов и биоразнообразие [2]. Изучение изменений пожарного режима в прошлом и его влияния на эволюцию ландшафтов может помочь найти надлежащую стратегии для управления и сохранения лесных [3] и болотных геосистем, что важно в рамках изучения проблемы устойчивости биосферы [4]. При этом данные о палеопожарах в голоцене распределены неравномерно, поэтому некоторые регионы, одним из которых является Центральная Эвенкия, остаются слабо изученными [5].

Основные цели работы — реконструкция пожаров в бассейне реки Нижняя Тунгуска на примере двух ключевых участков, а также оценка влияния пожаров на болотные геосистемы.

Территория исследования. Территория исследования расположена в районе поселка Тура (Эвенкийский район Красноярского края).

В качестве ключевых участков были выбраны два болота, расположенные в разных позициях в рельефе: первый объект — болото Горное ($S = 8,5$ га, $H_{абс} = 350$ м), расположенного на плато в 10 км к юго-западу от н. п. Тура; второй — болото Нижняя Тунгуска ($S = 352$ га, $H_{абс} = 150$ м), приуроченного ко 2 надпойменной террасе реки Нижняя Тунгуска в 20 км к юго-востоку от поселка.

На болотах Горное и Нижняя Тунгуска отбор производился в оттаявших мочажинах. Были отобраны 215 и 113 см керны для первого и второго болота соответственно торфяным буром Сукачева.

Материалы и методы. Радиоуглеродные датировки для образцов торфа из болот Центральной Эвенкии были получены в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГ РАН. Полученные радиоуглеродные даты калибровались в программе в Calib 8.20. Расчет скорости накопления торфа при помощи модели

роста отложений был выполнен в библиотеке R версии 2.3.9.1 в программной среде R.

Анализ потерь при прокаливании был выполнен согласно [6]. Пробоподготовка для ботанического анализа торфа была выполнена по [7]. Для определения растений использовались атласы и определители [8, 9]. Подсчёт макроскопических частиц угля был выполнен по стандартной методике [10], а реконструкция времени пожаров в библиотеке *taras* для R [11].

Все статистические расчеты производились в R с использованием стандартных функций.

Результаты исследований. По ботаническому составу торфа было выделено 8 зон для болота Горное и 4 зоны для болота Нижняя Тунгуска.

Анализируя скорость накопления макрочастиц угля в торфе и частоту пожаров, можно выделить 6 этапов (рис. 1). На первом этапе (7800–6900 кал. л. н.) всего выделяется 3 пожара, межпожарный интервал равен 200 годам, а средняя скорость накопления макрочастиц угля составляет $1 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$. На втором этапе с 6900 до 5500 кал. л. н. выделяется 3 пожара, межпожарный интервал по сравнению с предыдущим этапом увеличился до 400 лет, а скорость накопления макрочастиц угля снизилась в половину. С 5500 до 3800 кал. л. н., на третьем этапе, выделяется всего 1 пожар, а скорость накопления макрочастиц угля очень низкая — всего $0.1 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$. С 3700 до 2800 кал. л. н. по высокой частоте пожаров выделяется четвертый этап. На этом этапе насчитывается 8 пожаров с интервалом 100 лет, а скорость накопления макрочастиц угля составляла $1.5 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$ и выше. Но на пятом этапе, с 2700 до 400 кал. л. н., скорость накопления макрочастиц угля в торфе вновь падает до значений третьего этапа, а частота пожаров крайне низка — за более чем 2000 лет выделяется всего два. Шестой этап охватывает промежуток времени от XVII века по настоящее время. Всего выделяется 4 пожара с интервалом около 100 лет, а средняя скорость накопления макрочастиц угля соответствует четвертому этапу, хотя пиковые значения существенно выше — до $6 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$.

Для болота Нижняя Тунгуска выделяется 5 пожарных этапов (рис. 2). На первом этапе с 7500 до 6100 кал. л. н. выделяется 5 пожаров со средним межпожарным интервалом 350 лет и средней скоростью накопления макрочастиц угля $0.15 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$. На втором с 6100 по 5000 кал. л. н. интенсивность угленакопления снижается до $0.1 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$ и ниже,

пожары не фиксируются. Далее, с 5000 до 4000, на третьем этапе, было выделено 5 пожаров. Межпожарный интервал равняется 200 годам, а средняя скорость накопления макрочастиц угля $0.2 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$, в пиковых значениях достигая $0.4 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$. На четвертом этапе (4000–1400 кал. л. н.) выделяется всего 3 пожара. Средняя скорость накопления частиц угля менее $0.1 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$, но при пожарах возрастает до $0.2 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$ и выше. На пятом этапе от 1400 кал. л. н. по настоящее время было реконструировано 2 пожарных события. Средняя скорость накопления частиц угля составляет $0.3 \text{ ч} / (\text{см}^2 \times \text{год})$.

Далее были получены значения корреляции Спирмена между числом углей, временем после пожара, потерями при прокаливании и процентным содержанием растительности в торфе. Для болота Горного (рис. 3) относительно высокие значения корреляции между временем после пожара обнаружены для *Sph. subnitens/subvulfum*, *Sph. teres*, *Sph. annulatum* ($r = -0.38$, $r = -0.33$, $r = 0.38$ соответственно). Потери при прокаливании имеют умеренную отрицательную связь между *Larix sp.*, *Menyanthes trifoliata* ($r = -0.55$ и $r = -0.38$ соответственно). Умеренная положительная — родом *Carex*, *Sph. annulatum*, *Sph. majus*, *Drepanocladus sp.* (средний $r = 0.37$ для *Carex*, $r = 0.39$, $r = 0.43$, $r = 0.39$ соответственно).

Для болота Нижняя Тунгуска (рис. 4) корреляция со значениями ниже -0.3 выделяется для *Comarum palustre*, *Equisetum sp.*, *Menyanthes trifoliata*, *Sph. sect cuspidata*, *Sph. sect acuatifolia*, *Drepanocladus sp.* С относительно высокими положительными значениями — только для *Sph. lindbergii*, *Sph. balticum*, *Brachythecium rutabulum* ($r = 0.37$, $r = 0.39$, $r = 0.36$). Умеренные и высокие абсолютные значения корреляции с потерями при прокаливании выявлены для *Larix. sp.*, *Comarum palustre*, *Equisetum sp.*, *Menyanthes trifoliata*, *Sph. sect cuspidata*, *Sph. sect acuatifolia*, *Sph. lindbergii*, *Sph. magellanicum*, *Drepanocladus sp.*

Интерпретация результатов. При интерпретации описанных выше корреляций мы исходили из предположения, что при пожаре лес вокруг болота мог погибать, таким образом влияя на привнос минеральных частиц и сток влаги. Если предположить, что пожары оказывали влияние на локальную растительность в отдельные моменты времени, то между растительностью и временем после пожара должна наблюдаться отрицательная корреляция, как и между растительностью и потерями при прокаливании (происходящий пожар приводит к привносу минеральных частиц, что снижает значение потери при прокаливании).

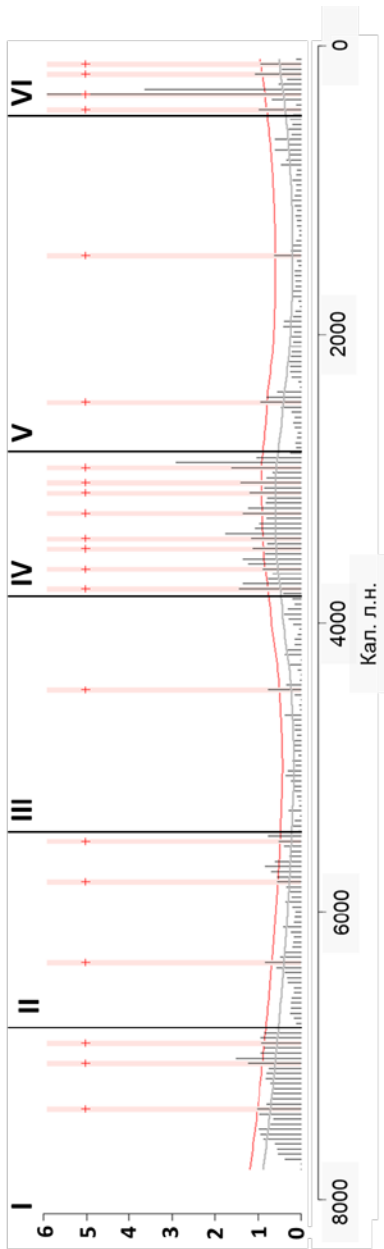


Рисунок 1. Скорости накопления макроскопических частей угля в болоте Горное.
Черными столбиками обозначены скорости накопления макрофрагментов угля, выделены бордовым с красным крестом — пожары. Серой линией обозначена скользящая средняя, а красной — критическое значение, превышение которого выделяется как пожар.

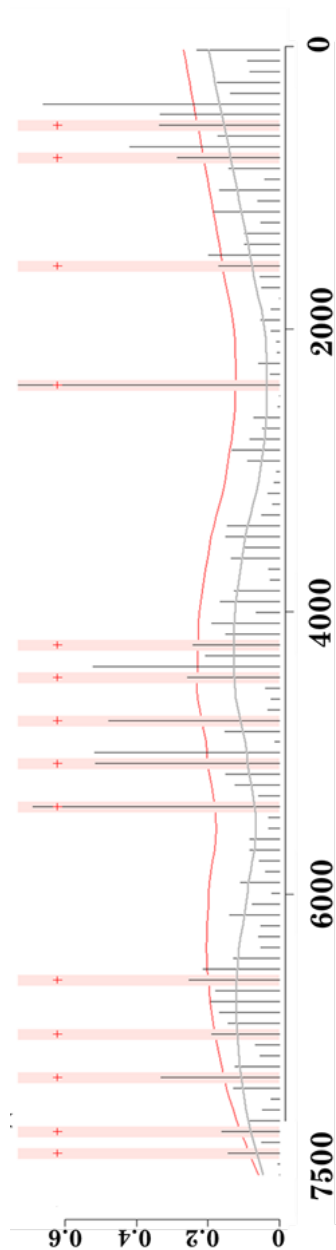


Рисунок 2. Скорости накопления макроскопических частиц угля в болоте Нижняя Тунгуска. Черными столбиками обозначены скорости накопления макрочастиц угля, выделены бордовым с красным крестом — пожары. Серой линией обозначена скользящая средняя, а красной — критическое значение, превышение которого выделяется как пожар.

Вид/род растений	tpFire	LOI
Pinus sp.	-0.18	0.00
Picea sp.	-0.19	-0.12
Larix sp.	-0.10	-0.55
Betulla sp.	-0.29	-0.30
Alnus fruticosa	-0.18	-0.15
Carex caespitosa	-0.08	0.34
Carex limosa	-0.05	0.37
Carex rostrata	-0.12	0.40
Calamagrostis sp.	0.07	0.00
Equisetum sp.	0.18	0.09
Eriophorum sp.	-0.09	0.19
Menyanthes trifoliata	-0.13	-0.38
Phragmites communis	0.29	-0.05
Scheuchzeria palustris	0.15	0.04
Sph. sect. palustria	-0.04	0.01
Sph. annulatum	0.38	0.39
Sph. auriculatum	0.06	0.16
Sph. balticum	0.21	0.18
Sph. cuspidatum	-0.14	0.09
Sph. capillifolium	0.26	0.01
Sph. jensenii	0.23	0.19
Sph. lindbergii	0.17	0.25
Sph. majus	0.27	0.43
Sph. riparium	-0.04	-0.26
Sph. subnitens	-0.38	-0.14
Sph. teres	-0.33	-0.25
Leptodyctium riparium	0.07	0.33
Calliergon sp.	0.04	-0.17
Drepanocladus sp.	0.18	0.39
Tornenthypnum nitens	0.20	0.22

Рисунок 3. Корреляция Спирмена между растительностью, временем после пожара (tpFire) и LOI для болота Горное.

Вид/род растений	tpFire	LOI
Larix sp.	-0.37	-0.74
Salix sp.	-0.12	-0.16
Betulla sp.	0.10	0.15
Alnus sp.	0.09	-0.10
Sph. sp.	0.09	0.20
Carex sp.	-0.18	0.05
Carex brunnescens	-0.28	0.14
Carex riparia	-0.14	-0.01
Carex lasiocarpa	-0.23	-0.05
Carex pseudocyperus	0.23	-0.05
Carex nigra	0.11	0.02
Comarum palustre	-0.41	-0.78
Equisetum sp.	-0.46	-0.74
Eriophorum sp.	0.09	0.03
Menyanthes trifoliata	-0.51	-0.34
Scirpus lacustris	0.34	0.11
Herbs sp	0.02	0.08
Sph. sect. acuatifolia	-0.26	-0.56
Sph. sect. (cuspidata)	-0.32	-0.45
Sph. sect. palustria	0.23	-0.10
Sph. annulatum	0.09	0.28
Sph. balticum	0.39	0.14
Sph. lindbergii	0.37	0.73
Sph. magellanicum	0.23	0.69
Sph. majus	0.29	0.08
Sph. papillosum	0.11	-0.29
Green mosses sp.	-0.18	-0.36
Drepanocladus sp.	-0.37	-0.23
Pseudocalliergon trifarium	-0.20	0.11
Fontinalis antipyretica	0.08	-0.38
Brachythecium rutabulum	0.36	0.09
Gymnocollea inflata	0.14	0.31
Scorpidium sp.	0.18	-0.04

Рисунок 4. Корреляция Спирмена между растительностью, временем после пожара (tpFire) и LOI для болота Нижняя Тунгуска.

Для болота Горное одновременно относительно высоких отрицательных корреляций между временем после пожара и потерями при прокаливании не обнаружено. Умеренная положительная корреляция для обоих значений со *Sph. annulatum*, но это позволяет сделать уверенных выводов.

Однако, для болота Нижняя Тунгуска относительно высокие отрицательные корреляции между временем после пожара, потерями при

прокаливания и растительностью выявлены для *Comarum palustre*, *Equisetum* sp., *Menyanthes trifoliata*, *Sph. sect cuspidata*, *Sph. sect acuatifolia*, *Drepanocladus* sp. Все эти виды произрастают при близком залегании уровня болотных вод или в мочажинах [8, 9]. На основании этих данных можно сделать предположение, что пожары на окружающей территории, которые приводили к гибели лесов вокруг болота, снизили транспирацию и привели к росту влажности на болоте из-за стока с окружающих территорий. Этот же сток должен был привнести некоторое количество минеральных частиц. Влияние пожаров на сток и вынос минеральных частиц на современном примере был подробно разобран в [12]. Но в данном исследовании удалось проследить долговременный эффект пожаров на болота.

По результатам анализа макроскопических частиц угля было выяснено, что периоды наибольшей частоты пожаров происходили в периоды 7800–5700 кал. л. н. (Межпожарный интервал (МПИ) 200–500 лет), 3700–2700 кал. л. н. (МПИ 100–200 лет), и с начала XVII века по настоящее время (МПИ 100 лет).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Величко А. А. Эволюционная география: проблемы и решения. М. : ГЕОС, 2012. 564 с.
2. Bond W. J., Woodward F. I., Midgley G. F. The global distribution of ecosystems in a world without fire // *New Phytologist*. 2005. № 165(2). P. 525–537
3. Finsinger W., Morales-Molino C., Gałka M., Valsecchi V., Bojovic S., Tinner W. Holocene vegetation and fire dynamics at Crveni Potok, a small mire in the Dinaric Alps (Tara National Park, Serbia) // *Quaternary Science Reviews*. 2017. № 167. P. 63–77.
4. Палеоклиматы и палеоландшафты внутропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен — голоцен : Атлас-монография / под ред. профессора А. А. Величко. Москва, 2009. 120 с.
5. Global Paleofire Database [Сайт]. URL: <https://www.paleofire.org/index.php> (дата обращения: 12.05.2023).
6. Chambers Frank, Beilman David & Yu Z. Methods for determining peat humification and for quantifying peat bulk density, organic matter and carbon content for palaeostudies of climate and peatland carbon dynamics // *Mires and Peat*. 2010. 7. P. 1–10.

7. ГОСТ 28245-89.
8. Кац Н. Я., Кац С. В., Скобеева Е. И. Атлас растительных остатков в торфах. М. : Недра, 1977. 376 с
9. Laine Jukka, Harju P., Timonen T., Laine Anna, Tuittila Eeva-Stiina, Minkinen Kari & Vasander Harri. The Intricate Beauty of Sphagnum Mosses // A Finnish Guide to Identification. 2009. 39. P. 1–190.
10. Mooney S. D., Tinner W. The analysis of charcoal in peat and organic sediments // Mires and Peat. 2011. Article 09. P. 1–18.
11. Finsinger W., Bonnici I. tapas: an R package to perform trend and peaks analysis. 2022. 20 p.
12. Shakesby R. A., Doerr S. H. Wildfire as a hydrological and geomorphological agent // Earth-Science Reviews. 2006. № 74. P. 269–307.

Изучение факторов, влияющих на интерферометрическую когерентность Sentinel-1 на территории острова Визе, в целях использования радиолокационных интерферометрических данных для ландшафтного картографирования

М. А. Ширяев¹, Е. А. Балдина¹

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, 119991, Москва, Ленинские горы, МГУ, д. 1, m.shiryayev.w@gmail.com, baldina@geogr.msu.ru

В работе проанализированы возможности использования многовременных данных на базе радиолокационных снимков *Sentinel-1*, сочетающих информацию об амплитуде и фазе двух снимков посредством анализа различных факторов, влияющих на значения когерентности, в целях исследования свойств поверхностей арктического острова Визе по изображениям, а также картографирования природных территориальных комплексов (ПТК) острова.

Основными использованными материалами стали интерферометрические пары радиолокационных спутников *Sentinel-1*. Всего было использовано 36 снимков за летние сезоны с 2019 по 2021 годы. Для анализа использовалось сочетание амплитудной и фазовой информации снимка в одном продукте — многоканальном композите с когерентностью *МТС* [2], где в красном канале используется амплитуда первого по дате радиолокационного снимка; в зеленом — амплитуда второго по дате снимка с аналогичной геометрией съемки, а в синем — когерентность фаз этих двух снимков. Когерентность характеризуется как мера корреляции фаз двух радиолокационных снимков (от 0 до 1) [9] и определяет пригодность пары ввиду ее чувствительности к таким факторам как изменение высоты снежного покрова, вегетация, влажность поверхности [1].

Совмещение амплитудных и фазовых данных радиолокационной съемки помогло лучше установить ландшафтные градации острова. Было установлено, что высокая когерентность фаз сигналов двух соседних по дате снимков на летний период сохраняется для большей части острова, в частности для поверхности равнин и узких валунно-галечных пляжей и каменистых гряд. Когерентность нарушается у водных поверхностей, а также площадок, подверженных переувлажнению. Низкие значения наблюдаются и в тех местах, где объем растительной биомассы

наибольший. Влияет на когерентность и сильная расчлененность поверхности криогенным микрорельефом — она приводит к искажению сигнала. [4, 5].

Впоследствии в целях установления наличия (или отсутствия) сезонных закономерностей у ПТК, отличающих тот или иной природный территориальный комплекс от других (различия в характере грунта или интенсивности вегетации растительности), была рассмотрена динамика значений когерентности в течение всего бесснежного периода и их связь с внешними условиями. Значения когерентности в период установления снежного покрова имеют низкие значения и достигают наименьших величин с установлением положительных температур вследствие изменения свойств снега [4]. В период снеготаяния и стока талых вод (сроки которого в разные годы различаются) идет постепенный рост значений когерентности, а максимум достигается в летний период в августе-сентябре, причем у переувлажненных ПТК когерентность в среднем на 0.2–0.3 ниже, чем у ПТК в пределах равнины. Кроме того, значения когерентности были сопоставлены с метеоданными со станции на острове Визе, в результате чего было установлено, что многочисленные существенные снижения величины когерентности в летний период (до 0.4–0.5) по всему острову в случайные сроки связаны с прохождением осадков в один из двух моментов съемки.

В отдельные сроки была рассмотрена связь когерентности с вегетацией растительности и влажностью поверхности через индексы *MSAVI* и *NDWI* соответственно. При сопоставлении значений *MSAVI* и когерентности в одинаковых точках была установлено, что значения когерентности находятся в прямой зависимости от *MSAVI*, то есть полученные результаты противоположны установленной ранее [3, 6, 7] обратной зависимости растительности и когерентности. Это позволяет говорить о том, что влияние арктической растительности на когерентность незначительно вследствие ее малой высоты и низкого проективного покрытия. При сопоставлении значений *NDWI* и когерентности, напротив, просматривается стандартная обратная закономерность [8, 10] — когерентность сигнала снижается при увеличении влажности поверхности. Из этого следует, что на территории острова Визе влажность поверхности, вызываемая осадками, снеготаянием и нагонами, оказывает наиболее весомое влияние на когерентность.

Таким образом, сочетание амплитудной и фазовой информации позволяет дифференцировать различные природные территориальные комплексы острова Визе. Тем не менее, при анализе факторов, влияющих на когерентность пар радиолокационных снимков на территории острова Визе было выяснено, что ведущую роль во влиянии на когерентность радиолокационных снимков играют погодные факторы: наличие снежного покрова, нагонные явления, наличие и характер атмосферных осадков и, как следствие, влажность грунта, а влияние арктической растительности крайне мало. Из-за того, что эти факторы носят случайный характер и оказывают существенное влияние, сезонные закономерности в ходе когерентности выявить сложно, и сам ход значений когерентности для какого-либо участка малоинформативен для выделения того или иного ПТК. Понять сущность процессов можно только при рассмотрении острова в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров А. И., Яковлев О. И., Смирнов В. М. Спутниковый мониторинг Земли: Радиолокационное зондирование поверхности М. : Крандс, 2012. 248 с.
2. Пиетранера Л., Чезарано Л., Бритти Ф., Джентиле В., Кантемиров Ю. И. Новый продукт МТС, рассчитываемый по данным COSMO-SkyMed // Геоматика, Совзонд. 2012. № 1 (14). С. 46–51.
3. Чимитдоржиев Т. Н., Дмитриев А. В., Дагуров П. Н. Технология совместного анализа временных рядов изображений интерферометрической когерентности Sentinel-1 и вегетационного индекса по данным Sentinel-2 для мониторинга сельскохозяйственных полей // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17, № 4. С. 61–72.
4. Ширшова В. Ю., Балдина Е. А. Применение мультивременного композита с когерентностью (МТС) для изучения сезонной изменчивости поверхности о. Визе в целях его картографирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 8, № 4. С. 79–91.
5. Ширяев М. А., Балдина Е. А. Картографирование арктического острова Визе по данным радиолокационной съемки // Научные исследования молодых ученых-картографов, выполненные под руководством сотрудников кафедры картографии и геоинформатики

географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова. М. : КДУ «Добросвет», 2022. С. 136–146.

6. Ali I., Barrett B., Cawkwell F., Green S., Dwyer E., Neumann M. Application of Repeat-Pass TerraSAR-X Staring Spotlight Interferometric Coherence to Monitor Pasture Biophysical Parameters: Limitations and Sensitivity Analysis // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2017. № 10 (7). P. 3225–3231.
7. Bai Z., Fang S., Gao J. [et al.]. Could Vegetation Index be Derive from Synthetic Aperture Radar? – The Linear Relationship between Interferometric Coherence and NDVI // Scientific Reports. 2020. 10(1).
8. Rabus B., When H., Nolan M. The Importance of Soil Moisture and Soil Structure for InSAR Phase and Backscatter, as Determined by FDTD Modeling // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 2010. № 48(5). P. 2421–2429.
9. Touzi R., Lopes A., Bruniquel J., Vachon P. W. Coherence estimation for SAR imagery // IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing. 1999. № 37(1). P. 135–149.
10. Zwieback S., Hensley S., Hajnsek I., Assessment of soil moisture effects on L-band radar interferometry // Remote Sensing of Environment. 2015. № 164. P. 77–89.

Криогенные микроструктуры почвенного покрова европейских тундр: от типизации к классификации

А. Г. Шматова

¹Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29,
a.shmatova@yandex.ru

Почвенный покров тундр отличается высокой неоднородностью на микроуровне [2, 3] — наличием разнообразных криогенных микроструктур почвенного покрова. В первую очередь это связано с проявлением криогенных процессов, которые нарушают исходное залегание почвенных горизонтов. Зачастую при этом формируются упорядоченные формы микрорельефа и внутреннего строения, получившие название «структурные грунты» («patterned grounds») [5].

Наиболее полная систематизация микроструктур почвенного покрова арктической зоны предложена в Атласе Арктики [1]. В пояснительном тексте описано 13 комплексов почв, их генезис и морфология, но очень кратко (цитата): *«в пучинно-бугорковатом [комплексе] пучение приводит к образованию отчетливых бугорков»*. Четкого принципа номенклатуры нет. В последующих изданиях почвенных карт на территорию Арктики названия будут меняться. В дополнение к карте почвенного покрова, в Атласе [1] приведены схемы строения профилей некоторых комплексов почв (микроструктур). Они дают представление о строении почвенных тел и о приуроченности почвенных морфонов к микрорельефу. Исходя из легенды и схем строения, одному типу комплекса может соответствовать разный набор почв и наоборот, один и тот же набор почв может образовывать комплексы разных типов. То есть мы видим выражение идеи: есть некий тип генетико-морфологического строения микроструктуры и он не связан напрямую только с одной почвенной комбинацией, а может быть представлен разным составом почв.

В развитие этой идеи, автором были выделены генетико-морфологического типы микроструктур на основании строения почвенного профиля, а точнее характера залегания органического вещества, как наиболее заметного маркера процессов (рис. 1).

Представленный в настоящей работе материал собран в нескольких районах восточно-европейских тундр с 2018 по 2023 г. Наиболее изучен о. Колгуев, его центральные районы и самый восточный. В 2020 году исследования проводились на полуострове Болванский (Северо-запад

Большеземельской тундры) и островах Печорской губы: о. Ловецкий и о. Кашин. Исследованный регион заметно отличается от остальных арктических территорий более мягким климатом, и соответственно, криогенные процессы здесь имеют свою специфику. Многолетняя мерзлота в изученных районах прерывистая или сплошная. Остров Колгуев и Бованский полуостров сложены морскими и ледниковыми отложениями, которые представляют из себя переслаивание песков, суглинков и глин. Согласно схеме широтной дифференциации растительного покрова Арктики, исследованные территории принадлежит двум подзонам тундровой зоны: южным (кустарниковым) и типичным (мохово-кустарничковым) тундрам.

На исследованной территории было встречено 4 ранее описанных в литературе генетико-морфологических типа криогенных микроструктур: трещинно-нанополлигональный, пучинно-бугорковый, спорадически-пучинно-пятнистый, крупноблочный (рис. 1а–г). Их названия даны в соответствии с Атласом Арктики (1985). Также были описаны 3 новых типа структур, которым даны рабочие названия: западинковый, кольцевой и конвекционно-нанополлигональный (рис. 1д–ж).

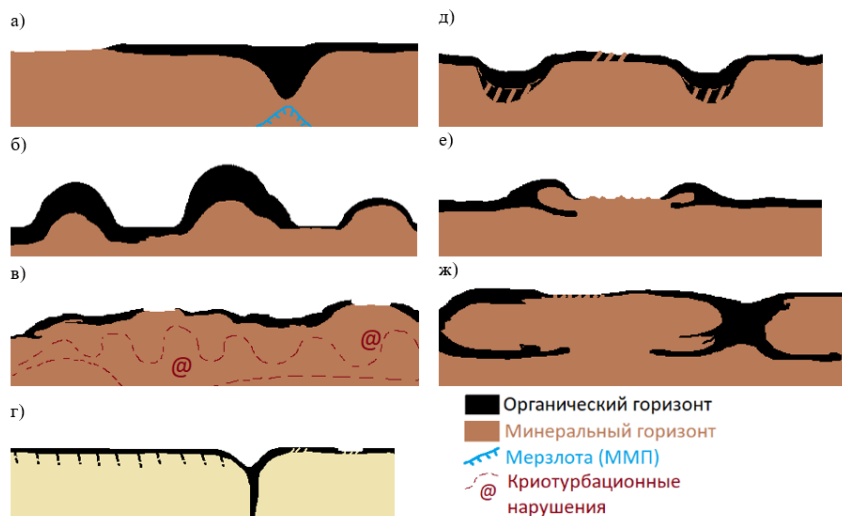


Рисунок 1. Генетико-морфологические типы микроструктур. Выделенные в Атласе Арктики [1]: а) трещинно-нанополлигональный; б) пучинно-бугорковый; в) спорадически-пучинно-пятнистый; г) крупноблочный. Описанные автором: д) западинковый; е) кольцевой; ж) конвекционно-нанополлигональный

Трещинно-нанополигональные микроструктуры (рис. 1а) были описаны на Колгуеве в двух траншеях и Болванском полуострове на суглинистых пологих слабовыпуклых склонах. Несмотря на наличие криогенных трещин, полигональный узор поверхности как правило выражен слабо. Внутреннее строение этих структур контрастно. Во всех описанных случаях оно представлено одним составом почв: почва пятна — глеезем — торфяно-криозем (почва трещины).

Как разновидность этого типа можно выделить *конвекционно-нанополигональные структуры* (рис. 1ж), описанные в трех траншеях в восточном районе Колгуева. Они отличаются тем, что органическое вещество не только заполняет трещины, но и распространяется горизонтально от трещины к центру полигона, что может свидетельствовать о конвективном процессе, аналогичном предложенному Маккеем [4].

Бугорковатый микрорельеф — один из самых распространенных на Колгуеве. На Болванском он встречается крайне ограничено. На островах Печорской губы бугорковатые структуры также описаны и занимают значительные пространства. Строение почв под подобным микрорельефом весьма разнообразно. Микроструктуры могут состоять из разных комбинаций двух почв. Обычно бугорки относят к изометричным структурным грунтам («nonsorted nets» или «nonsorted circles»), однако на Колгуеве часто встречались вытянутые вдоль склона бугорки (до 7 м в длину, при средней ширине менее метра).

К группе *спорадически-пучинно-пятнистых микроструктур* (рис. 1в) были отнесены комплексы с почвами пятен, которые расположены на приподнятых участках слабоволнистого микрорельефа, что указывает на коррозионное происхождение пятен. Эти микроструктуры были описаны исключительно на Колгуеве. Строение почвенного профиля довольно простое: почва пятна отличается от фоновой отсутствием органического горизонта. Было описано два варианта состава данной микроструктуры: 1) комплекс криометаморфической грубогумусовой криотурбированной почвы и абразема криометаморфического криотурбированного (почва пятна); 2) комплекс подбуря оподзоленного криотурбированного и абразема альфегумусового криотурбированного (почва пятна). В отсутствие полигональной сети трещин неравномерность промерзания определяется случайным характером растительности. Криотурбации, а за ними и локальные поднятия в микрорельефе носят

спорадический характер. Образование пятен зависит не столько от интенсивности промерзания, сколько от локальных погодных условий зимой.

К этой группе стоит отнести микроструктуры, описанные в трех траншеях на Колгуеве под неупорядоченным рельефом поверхности. Во всех из них были обнаружены хаотичные криотурбации. Состав почв различался. Таким образом, видится необходимым уточнения названия данного генетико-морфологического типа и включения в нее микроструктур, на поверхности которых могут отсутствовать пятна олого грунта.

Крупноблочные криогенные микроструктуры (рис. 1г) — это трещинно-полигональные структуры, в которых полигоны представляют собой крупные блоки от нескольких до десятков метров в диаметре, разделенные понижениями. Такой полигональный микрорельеф встречается на всех исследованных территориях. Особенность этой структуры в том, что вследствие ее размеров внутри блоков может развиваться другая криогенная микроструктура меньшей размерности. Почвенный покров этих крупноблочных микроструктур слабоконтрастен. В зависимости от региональной специфики было выделено два варианта состава почв в крупноблочных микроструктурах: 1) подзолы криотурбированные, составляющие всю структуру, либо являющиеся фоновой почвой в комплексе с абраземами альфегумусовыми (пятна на блоках); 2) псаммоземы оподзоленные глееватые перегнойные криотурбированные (фоновая почва блока и трещины) в комплексе с абраземами (почвы пятен).

Западинковый микрорельеф представляет из себя ровную поверхность с разбросанными по ней небольшими понижениями менее 1 м в диаметре и глубиной до 15 см. Расстояние между западинками варьирует от 1 до 4 м. Микрорельеф представлен двумя разновидностями: 1) округлые, регулярно повторяющиеся, и 2) неправильной формы, хаотически разбросанные. Строение почв западинок разнообразно. Наиболее распространены комплексы, состоящие из криометаморфических почв и глееземов криометаморфических.

Кольцевые микроструктуры (рис. 1е) были описаны практически во всех районах Колгуева. В других районах исследований они не выделялись. Кольцевые микроструктуры состоят из пятна, окруженного валиком (кольцом), за которым следует или фоновая почва, или соседний

валик и пятно. Пятно голого грунта, находящееся внутри кольца, имеет неровную поверхность, может быть частично покрыто разреженной растительностью, и часто — выпотами солей на поверхности. Встречались также кольца с заросшими пятнами. В таком случае поверхность внутри кольца была ровной, переувлажненной, покрытой маломощным покровом гигрофильных мхов. Сочетание почв в кольцевой микроструктуре несколько похоже на трещинно-нанопolygonальные структуры, однако первые отличаются своеобразным строением валика и наличием фоновой почвы в ситуации, когда кольца расположены на расстоянии. Комбинация почв данного типа микроструктуры примерно следующая: 1) почва пятна (или криометаморфическая глееватая), 2) перегнойно-криометаморфическая (внешняя сторона валика), 3) глеезем криометаморфический криотурбированный, 4) перегнойно-криометаморфическая глееватая либо глеезем криометаморфический перегнойный. То есть мы имеем четырехчленный комплекс почв — наиболее контрастный по строению почвенный покров. В тех случаях, когда кольца расположены вплотную друг к другу, может возникать иллюзия polygonального строения. Однако разрез, заложенные через слившиеся валики соседних колец показал, что строение почвенного тела сохраняется, а признаки криогенной трещины отсутствуют.

Обобщая представленный материал, нужно отметить, что узор поверхности может быть схожим для принципиально разных структур (например, псевдоpolygonальный узор бывает при частом расположении колец), либо, наоборот, один тип микроструктур может образовывать разные узоры (округлые и вытянутые бугорки). Таким образом, для классификации криогенных микроструктур почвенного покрова использовать такой параметр, как геометрия поверхности, не представляется возможным. Соответственно, невозможно напрямую применить и классификацию структурных грунтов [5]. Использовать микрорельеф поверхности для разделения типов микроструктур почвенного покрова также не представляется возможным, так как в ряде случаев он не выражен (например, при заполненности трещин). Однако, видится весьма перспективным использовать его как маркер, в совокупности с узором растительности. Из представленного материала видно, что пятна голого грунта — явление временное, отражающее актуальное состояние криогенной микроструктуры. Таким образом, их стоит выделять на наиболее низком уровне классификации, как признак.

Таким образом, в качестве основного принципа классификации предлагается использовать генетико-морфологические типы строения; на следующем уровне — строение почвенного покрова; и на последнем — наличие пятен голого грунта.

Работа выполнена при поддержке Мини-гранта Института географии РАН. Проект «Криогенные структурные грунты как основа дифференциации почвенного и растительного покрова» (2023).

Автор благодарит Д. Г. Петрова и В. А. Лобкова за помощь в полевых работах, а также организаторов экспедиций — П. М. Глазова и И. А. Лавриненко.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Арктики / под ред. Короткевича Е. С., Кручинина Ю. А., Маркова В. Ф., Трешникова А. Ф. М. : ГУГК, 1985. 204 с.
2. Горячкин С. В. Почвенный покров севера (структура, генезис, экология, эволюция). М. : ГЕОС, 2010. 414 с.
3. Фридланд В. М. Структура почвенного покрова. М. : Мысль, 1972. 410 с.
4. Mackay J. R. The origin of hummocks, western Arctic coast, Canada // Canadian Journal of Earth Sciences. 1980. Vol. 17. P. 996–1006.
5. Washburn A. L. Classification of patterned ground and review of suggested origins // Bulletin Geological Society of America. 1956. Vol. 67. P. 823–865.

Научное издание

**Исследования природы и общества
в условиях глобальных трансформаций**

Ответственный редактор **Захаров** Андрей Леонидович

Редакторы:

Добрянский Александр Сергеевич

Иванов Сергей Владимирович

Рудинская Анна Ивановна

Шашерина Лидия Всеволодовна

Статьи публикуются в авторской редакции

Верстка *А. С. Добрянский, С. В. Иванов*

Формат 148×210 мм

Электронное издание

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт географии Российской академии наук

119017, Москва, Старомонетный переулок, дом 29, стр. 4.