



Рекомендации по охране пещер и карстовых ландшафтов

Второе издание



Рекомендации по охране пещер и карстовых ландшафтов

Второе издание

2022

Под редакцией Дэвида Гиллисона, Джона Ганна, Августа Аулера и Терри Болгера

Участники: Август Аулер, Терри Болгер, Фердинандо Дидонна, Ролан Эберхард, Стефан Эберхарл, Хейн Герстнер, Дэвид Гиллисон, Джон Ганн, Анна Комерики, Дениз Матиас, Жасмин Морейра, Ана София Реболейра, Гири Шиндель, Мария-Луиза Тирла, Барбел Вогель, Брэд Уест

Издано Международным союзом спелеологов (UIS - MCC)
и Международным союзом охраны природы (IUCN - МСОП)



Рекомендации по охране пещер и карстовых ландшафтов

Первое издание Рекомендаций выпущено Международным союзом охраны природы (МСОП) в 1997 г. Второе издание выпущено в 2022 г. Международным союзом спелеологов (МСС) при поддержке МСОП. В подготовке приняли участие члены Рабочей группы по пещерам и карсту в группе специалистов Всемирной комиссии МСОП по охраняемым территориям и геонаследию.

Взгляды, выраженные в этой публикации, не обязательно отражают взгляды МСС, МСОП или любых других организаций, упомянутых в публикации.

Авторское право:

© 2022 UIS, Международный союз спелеологов и IUCN, Международный союз охраны природы

Воспроизводство этой публикации в образовательных или других некоммерческих целях разрешено без предварительного письменного разрешения от владельца авторских прав при условии полной ссылки на источник.

Воспроизводство этой публикации для перепродажи или других коммерческих целей запрещено без предварительного письменного разрешения владельца авторских прав.

Рекомендуемое цитирование: Gillieson D.S., Gunn J., Auler A., Bolger T. (ред.), 2022. *Guidelines for Cave and Karst Protection*, 2nd Edition, Postojna, Slovenia: International Union of Speleology and Gland, Switzerland: IUCN. 112 p.

Каталогизация Национальной библиотеки Австралии

Гиллисон Д.С., Ганн Дж., Аулер А., Болгер Т. (ред.)

ISBN: 978-0-646-84911-9 (pdf)

Включает библиографическую информацию

Пещеры – охрана и управление

Карст – охрана и управление

Фотография на обложке: Стивен Бурне, используется с разрешения автора

Макет и производство: Дэвид Гиллисон и Джереми Гарнетт

О МСС

Union Internationale de Spéléologie (Международный союз спелеологов, или UIS – МСС) является международной организацией для спелеологов и спелестологов. МСС – некоммерческая, неправительственная организация, которая обеспечивает взаимодействие между академическими и техническими спелеологами разных стран для развития и координации международной спелеологии во всех её научных, технических, культурных и экономических аспектах. МСС остается основным глобальным научным и спортивным органом, продвигающим охрану пещер на международном уровне. МСС координируется с Международным союзом охраны природы (IUCN - МСОП). По запросу МСС поддерживает международные спелеологические события, усилия государств-членов по защите пещер и карстовых объектов, заявления на включение пещер и карстовых объектов в список Всемирного наследия ЮНЕСКО, заявки в правительства на создание карстовых учреждений по изучению и защите карста, а также поддерживает спелеологов и учёных в их усилиях в получении средств для проектов. МСС в партнерстве с 57 государствами-членами и более чем 250 учреждениями и организациями всего мира провозгласил Международный год пещер и карста в 2021-22 гг.

secretary@uis-speleo.org

<http://uis-speleo.org/>

О МСОП

Международный союз охраны природы – IUCN (МСОП) – это международная организация, в состав которой входят как государственные, так и общественные учреждения. Союз предоставляет общественным, частным и неправительственным организациям знания и инструменты, которые способствуют прогрессу, экономическому развитию и сохранению природы.

Созданный в 1948 г., МСОП в настоящее время является крупнейшей и наиболее разносторонней экологической сетью в мире, объединяющей знания, ресурсы и влияние более 1400 организаций-членов и около 18000 экспертов. МСОП – ведущая организация, которая занимается сбором данных о защите природы и их анализом. Его широкая сеть позволяет МСОП быть инкубатором и надёжным хранилищем передового опыта, инструментов и международных стандартов.

МСОП предоставляет нейтральное пространство, в котором различные заинтересованные стороны, включая правительства, неправительственные организации, ученых, предприятия, местные сообщества, ассоциации коренных народов и др., могут сотрудничать для выработки и реализации решений экологических проблем и достижения устойчивого развития.

Вместе с партнерами и сторонниками МСОП реализует разнообразный портфель природоохранных проектов по всему миру. Сочетая новейшие достижения науки с традиционными знаниями местных сообществ, эти проекты призваны обратить вспять процесс утраты мест обитания, восстанавливать экосистемы и улучшать благосостояние людей.

www.iucn.org

<https://twitter.com/IUCN/>

Институт географии
Российской академии наук
Российский союз спелеологов

Рекомендации по охране пещер и карстовых ландшафтов

Перевод с английского Б.Р. Мавлюдова

Москва
2025

УДК 551.44; 502.62; 551.435.8

Гиллисон Д.С., Ганн Дж., Аулер А., Болгер Т. (ред.). *Рекомендации по охране пещер и карстовых ландшафтов, 2 издание*. Пер. с англ. Б.Р. Мавлюдов. 2025. Москва: ИГРАН. 112 с. Научное электронное издание.

В книге, представляющей второе издание Рекомендаций, впервые вышедших в 1997 г., рассмотрены вопросы природы карстовых систем, антропогенной активности в карсте и управления карстом в охраняемых областях. Детально рассмотрена особенная природа карстовой окружающей среды и пещерных систем, показана их ценность, уникальность и уязвимость. Предложены подходы по организации охраны пещер и карстовых ландшафтов, оборудованию пещер в качестве экскурсионных объектов, использованию карстовых ландшафтов и пещер для рекреационного и приключенческого посещения. Отдельное внимание уделено вопросам охраны карстовых водных объектов, являющихся источником водоснабжения для 10% населения планеты. Книга адресована широкому кругу читателей, особенно будет интересна спелеологам, специалистам по изучению и охране пещер и карстовых ландшафтов.

Рецензенты : д-р физ.-мат. наук А.Л. Шелепин, д-р геогр. наук О.И. Кадебская

ISBN: 978-5-89658-080-5

© UIS, Международный союз спелеологов и
IUCN, Международный союз охраны природы, 2022
© Мавлюдов Б.Р., перевод с английского, 2025
© Институт географии РАН, 2025

Оглавление

	Стр.
Предисловие от переводчика	ii
Границы документа	iii
Участники	iii
Благодарности	iv
Природа карстовых систем	1
Введение: карст, пещеры и их охрана	1
Карст и растворимость горных пород	4
Значение карстовых ландшафтов и пещер	5
Особая природа карстовых территорий и пещерных систем	10
Масштабы управления в карстовых областях	12
Человек и карст: воздействие и смягчение последствий	17
Рекреационное и приключенческое посещение пещер	17
Экскурсионные пещеры	28
Приключенческая и туристическая активность на поверхностном карстовом ландшафте	41
Научные исследования	42
Сельское и лесное хозяйство	46
Добывающая промышленность	54
Развитие и инфраструктура	60
Водоснабжение	69
Управление охраняемыми карстовыми территориями	72
Развитие эффективного мониторинга и уменьшения последствий	72
Планирование управления охраняемой карстовой территорией	76
Коренные народы и управление карстовой территорией	81
Заключение	89
Дополнительная литература	91
Интернет-ресурсы	91
Научная литература	93
Литература по охране пещер на русском языке	96
Приложение 1: Карстовые ландшафты и пещеры в некарбонатных породах	98
Приложение 2: Полные рекомендации	106

Предисловие переводчика

Представляемый читателям перевод англоязычного текста Рекомендаций по охране пещер и карстовых ландшафтов (далее – Рекомендации) является обновленной и дополненной версией Рекомендаций, выпущенных Международным союзом спелеологов (МСС) в 1997 г. Второе издание Рекомендаций было выпущено в 2022 г., который отмечался ЮНЕСКО как международный год карста и пещер. Россия является членом МСС, и одним из официальных языков МСС является русский. Бюро МСС обратилось к переводчику во время 18 Международного спелеологического конгресса, который проходил в июле 2022 г. во Франции, с просьбой перевести Рекомендации на русский язык, чтобы ознакомить с ними спелеологическую общественность и всех заинтересованных в охране карстовых ландшафтов и пещер в России, а также выложить перевод на официальном сайте МСС. Перевод Рекомендаций был выполнен в конце 2022 г. Тематика Рекомендаций близка переводчику, поскольку он занимается вопросами охраны пещер с 1980-х гг. и имеет серию публикаций по вопросам охраны пещер.

Следует отметить, что представляемый читателю перевод Рекомендаций очень важен для русскоязычных специалистов, связанных с изучением, использованием и охраной пещер и карстовых ландшафтов, поскольку в последнее время никаких соответствующих руководящих документов в России не принималось. Единственные Рекомендации по охране пещер были выпущены Всероссийским обществом по охране природы (ВООП) в 1984 г. (см. литературу на русском языке по охране пещер в конце Рекомендаций). Предлагаемый перевод Рекомендаций важен для понимания объектов охраны и её причин, необходимых шагов в организации и осуществлении охраны пещер и карстовых ландшафтов, а также может служить примером того, как охрана пещер и других карстовых объектов осуществляется в других странах. Это особенно важно, поскольку в ряде стран (Бразилия, США) она утверждена на законодательном уровне. Перевод Рекомендаций также может быть полезен как основа для создания современных Рекомендаций по охране пещер и других карстовых объектов на территории России с использованием государственной специфики и законодательных принципов.

Рекомендации подготовлены известными специалистами по изучению карстовых ландшафтов и пещер, иллюстрированы многочисленными фотографиями. Несмотря на обширные знания, которые можно почерпнуть из Рекомендаций, в них нет конкретных указаний, как охранять пещеры, если они не являются экскурсионными объектами или составной частью охраняемой территории.

Информация о переводчике: Мавлюдов Булат Рафаэлевич, старший научный сотрудник Института географии РАН, спелеолог с 1968 г., инструктор по спелеологии, член Российского союза спелеологов и официальный представитель России в МСС. Занимается изучением ледников, оледенения пещер, климата пещер, пещер в ледниках и вопросами охраны пещер.

Границы документа

Эти Рекомендации – обновленная и расширенная версия «Рекомендаций по охране пещер и карстовых ландшафтов», изданных Международным союзом охраны природы – МСОП (IUCN) в 1997 г. (см. [Дополнительная литература](#)). В 2021 г. Международный союз спелеологов (UIS) решил издать вторую версию Рекомендаций совместно МСОП, впоследствии согласившись спонсировать публикацию. Первая версия Рекомендаций, прежде всего, затрагивала геологическое наследие, и в то время как это остается важным предметом рассмотрения во второй версии, мы также в них включили биологические проблемы, связанные с охраной пещер и карстовых ландшафтов.

Охрана поверхностных и подземных карстовых экосистем особенно актуальна для Цели 15 *Повестки дня ООН в области устойчивого развития до 2030 г.* (Охрана, восстановление и содействие устойчивому использованию наземных экосистем, рациональное управление лесами, борьба с опустыниванием, а также прекращение и обращение вспять деградации земель и прекращение потери биоразнообразия). Эти Рекомендации также связаны с Целью устойчивого развития 6 (Обеспечение доступности и устойчивое управление водой и санитарией для всех), поскольку ~10% населения мира получает воду из карстовых водоносных горизонтов и источников. Новые Рекомендации основываются и развиваются на *Рекомендациях для сохранения геонаследия на охраняемых и защищаемых территориях*, изданных МСОП в 2020 г., расширяют их и уделяют особое внимание защите и сохранению георазнообразия и экологии карстовых ландшафтов, а также отдельных пещер, независимо от их местоположения.

Закономерно, что эта публикация появилась в течение Международного года пещер и карста (IYCK) 2021-2022 гг., который был организован Международным союзом спелеологов, Международной организацией исследователей пещер и карста, ученых, менеджеров и педагогов. Три центральных темы IYCK – исследование, понимание и охрана, и эта публикация сосредоточена на третьей из них. Наша цель состоит в том, чтобы увеличить понимание уязвимости пещер и карстовых ландшафтов. Несмотря на то, что с момента публикации первого издания Рекомендаций произошло увеличение знаний о пещерах и карсте, они по-прежнему подвержены антропогенному воздействию во всём мире. Это, в том числе, относится к карстовым ландшафтам и пещерам, имеющим исключительную ценность, незаменимых с гидрологической, экологической и культурной точки зрения.

Редакторы и многие авторы Рекомендаций – члены Рабочей группы IUCN-WCPA по пещерам и карсту (CKWG), которая является частью Группы специалистов по геонаследиям. Эту публикацию рецензировали другие члены CKWG, члены Группы специалистов по беспозвоночным пещерам IUCN SSC и члены Всемирного сообщества специалистов по карсту. Мы предоставили списки материалов для дополнительного чтения, полезные Интернет-ресурсы и научные ссылки, использованные для создания этого документа. Мы надеемся, что эти Рекомендации внесут существенный вклад в понимание особых аспектов управления, необходимых для эффективной охраны пещер и карста. Рекомендации 1997 г. были «первым шагом» на этом пути, это издание отражает наши расширенные знания. Сейчас задача состоит в том, чтобы разработать больше национальных и конкретных стратегий охраны карстовых районов по всему миру.

Участники

Дэвид Гиллисон (David Gillieson), школа географии, наук о Земле и атмосфере университета Мельбурна, Клейтон, Виктория, Австралия;

Джон Ганн (John Gunn), школа географии, наук о Земле и окружающей среде университета Бирмингема, Англия, Великобритания;

Август Аулер (Augusto Auler), директор по исследованиям, Наука об окружающей среде карста / Институт карста, Белу-Оризонти, Минас Жерайс, Бразилия;

Тэрри Болгер (Terry Bolger), специалист по пещерам и карсту, Вьентьян, Лаос;

Фердинандо Дидонна (Ferdinando Didonna), член Европейской комиссии по охране пещер ECPC/FSE; член группы специалистов IUCN/WCPA по геонаследиям GSG, Италия;

Ролан Эберхард (Rolan Eberhard), отдел природного и культурного наследия, департамент первичной промышленности, парков, водных ресурсов и окружающей среды, Хобарт, Тасмания, Австралия;

Стефан Эберхард (Stefan Eberhard), директор фирмы Подземной экологии, Конингем, Тасмания, Австралия; дополнительный партнёр, Университет Нового Южного Уэльса; Почетный член Западно-австралийского музея;

Хейн Герстнер (Hein Gerstner), менеджер Парка всемирного наследия Мулу, Управление Парком Borsamulu Sdn Bhd, Мулу, Саравак, Малайзия;
 Ана Комерики (Ana Komerički), Хорватское биоспелеологическое общество, Загреб, Хорватия;
 Дениз Маргарет С. Матиас (Denise Margaret S. Matias), Биоразнообразие и люди, Институт социально-экологических исследований (ISOE), Франкфурт на Майне, Германия;
 Жасмин Кардозо Мореира (Jasmine Cardozo Moreira), Департамент туризма, программа по землеустройству, Государственный университет Понта-Гросса, Бразилия;
 Ана София Реболейра (Ana Sofia Reboleira), кафедра биологии животных факультета естественных наук университета Лиссабона, Лиссабон, Португалия;
 Гири Шиндель (Geary Schindel), главный технический директор Управления водоносного горизонта Эдвардс, Сан-Антонио, Техас, США и президент Национального спелеологического общества, США;
 Мария-Лаура Тирла (Maria-Laura Tirlă), кафедра региональной географии и окружающей среды, университет Бухареста, Бухарест, Румыния;
 Барбел Вогел (Barbel Vogel), президент Немецкой спелеологической федерации; помощник секретаря Международного союза спелеологов – UIS; секретарь рабочей группы IUCN/WCPA GSG по пещерам и карсту;
 Брэд Уест (Brad Wuest), президент Международной ассоциации экскурсионных пещер, Natural Bridge Caverns, Сан-Антонио, Техас, США.

Благодарности

Мы благодарны следующим людям, которые ознакомились со второй версией этих Рекомендаций и/или сделали полезные комментарии:

Гордана Белтрам (Gordana Beltram), Словения	Куинг Сик Ву (Kyung Sik Woo), Южная Корея
Розана Церквеник (Rosana Cerkvnik), Словения	Дон Мак Фарлане (Don McFarlane), США
Фил Чапмен (Phil Chapman), Великобритания	Жасмин Мореира (Jasmine Moreira), Бразилия
Мик Дэй (Mick Day), США	Джон Парр (John Parr), Лаос
Мартин Эллис (Martin Ellis), Великобритания	Энди Спайт (Andy Spate), Австралия
Ханс Фридерик (Hans Friederich), Мальта	Тим Стокс (Tim Stokes), Канада
Джереми Гарнетт (Jeremy Garnett), окончательное	Джордж Вени (George Veni), США
Редактирование, Австралия	Джон Ватсон (John Watson), Австралия
Пол Гриффитс (Paul Griffiths), Канада	Ник Уайт (Nick White), Австралия
Надя Зупан Хайна (Nadja Zupan Hajna), Словения	Пол Уильямс (Paul Williams), Новая Зеландия
Эко Харионо (Eko Haryono), Индонезия	

Мы благодарны следующим людям, которые предоставили фотографии для этих Рекомендаций:

Люсиана Альт (Luciana Alt)	Витторио Гробу (Vittorio Grobu)
Стивен Борн (Steven Bourne)	Питер Хофманн (Peter Hofmann)
Филиппе Крошет (Philippe Crochet)	Тони Марсден (Tony Marsden)
Роб Ивис (Rob Eavis)	Витор Моура (Vitor Moura)
Чаба Эгри (Csaba Egri)	Джон Спайс (John Spies)
Пол Гриффитс (Paul Griffiths)	Рейнер Страуб (Rainer Straub)

Авторские права на индивидуальные фотографии остаются за фотографами, и фотографии не могут быть переизданы без письменного разрешения авторов.

Мы очень благодарны Марии-Лауре Тирла за её блок-схемы карстовой гидрологической системы, пространственной организации карстового дренажа и антропогенного воздействия на карстовый ландшафт.

Природа карстовых систем

Введение: карст, пещеры и их охрана

Карст и пещеры на протяжении веков остаются немymi свидетелями развития Земли, зарождения и развития человеческих цивилизаций. Они впитали в себя, сохранили и защитили ключевые свидетельства долгого и бурного геологического прошлого нашей планеты: в виде древних минеральных отложений, следов давно исчезнувших океанов и ранних форм жизни, уникальных пещерных организмов, остатков вымершей мегафауны и первых проявлений человеческого искусства. Без пещер и карстовых ландшафтов доступ к этой бесценной информации был бы для нас невозможен.

Карст и пещеры – одни из самых необычных и ценных процессов и ландшафтов на нашей планете, важных для туризма и экономики. Их охрана особенно важна для сохранения истории развития планеты и цивилизации. Чем больше мы знаем о карсте и пещерах, тем более экологичным и безопасным будет сосуществование карстовых систем и человека, тем меньше будет воздействие на окружающую среду, что, в конечном счете, положительно отразится на нашем обществе. Безопасное и рациональное использование карстовых ландшафтов и пещер, и вопрос их качественной охраны и управления являются предметом этой книги. Мы постарались привести здесь передовой международный опыт, сделав его доступным для большинства читателей, при этом, не забыв о важных деталях для специалистов и научных работников.

Что такое карст?



Ущелье Карес (Cares) в Национальном парке Пикос де Европа, Биосферном заповеднике ЮНЕСКО, Испания – прекрасный пример голого поверхностного карста в альпийских условиях. Фото: David Gillieson.

Термин «карст» происходит от древнего слова *karra/gara*, означающего камень. Впервые это слово появилось в научном лексиконе по отношению к области в приграничном районе Словении и Италии – сегодня она признана «классическим карстом». Эта область отличается характерными ландшафтами и содержит обширные области голого известняка, который был обнажён по большей части вследствие эрозии почвы при чрезмерном использовании её под пастбища. Позже термин «карст» применялся для многих других объектов, порой имеющих мало общего с классическим карстом и характеризующихся небольшим количеством или отсутствием обнажённых скальных поверхностей.

С тех пор появилось немало определений того, что такое карст, иногда довольно противоречивых. Однако отправной точкой можно считать следующие отличительные черты: карстовые области характеризуются своеобразными ландшафтами и гидрологией, сформированными в результате комбинации высокой растворимости горных пород и подземного движения воды по крупным каналам. Течение грунтовых вод по более мелким протокам является

ламинарным и не может переносить отложения. Со временем вследствие растворения пород пути движения воды расширяются, и когда пустоты достигают ширины более 10 мм, в них возникают турбулентные потоки. Такие полости называют каналами. Характерные поверхностные ландшафты в карстовых областях включают замкнутые депрессии, такие как карстовые воронки, котловины и большие плоскodonные поля. Поглощаемые потоки, сухие долины и источники также широко распространены. Управление по охране окружающей среды Соединенных Штатов представило полезный Словарь пещерной и карстовой терминологии (см. [Интернет-ресурсы](#)).



В отличие от ущелья Карес (Cares), большая часть карста в умеренно-влажной Кинг-Кантри (Новая Зеландия) находится под толстым слоем вулканического пепла. Существенная часть природного леса была вырублена и заменена пастбищами. Фото: John Gunn.

Что такое пещера?

Пещера – естественная полость в толще земной коры (в твердых породах или отложениях), которая является достаточно большой для проникновения человека. Это определение отличает пещеры от искусственных туннелей и других подземных антропогенных пустот, иногда неправильно называемых пещерами. Минимальный размер полости – условная величина, зависящая от размеров исследователя, но примерно её диаметр можно обозначить как 0,3 м. Минимальная длина полости обычно около 5 м, хотя более короткие пещеры могут быть остатками протяжённых галерей, большая часть которых сократилась вследствие эрозии.

Как уже было сказано, карстовые пещеры сформированы в результате растворения пород и могут иметь размер от 1 мм до десятков метров. Важно различать гипогенные и эпигенные пещеры. Эпигенные полости формируются там, где вода поступает в растворимые породы с поверхности под действием силы тяжести и выщелачивает их. В случае карбонатных пород растворение происходит благодаря угольной кислоте, образующейся при растворении углекислого газа в воде. Напротив, гипогенные пещеры формируются текущими вверх потоками, которые заполняют пустотные зоны из лежащих ниже горизонтов и не зависят от поверхностных источников кислой воды. Эти потоки могут брать начало из отдалённых источников и протекать в границах малопроницаемых слоёв пород или рождаться на глубине (обычно имея геотермальную природу) и не получать подпитку из перекрывающих или непосредственно подстилающих горизонтов пород. В результате у большинства гипогенных пещер нет или почти нет поверхностных проявлений. Третий тип карстовых пещер формируется там, где карбонатные породы обнажаются на побережье, и растворение происходит на контакте пресной и соленой воды. Их называют контактными пещерами (flank margin caves).

В дополнение к карстовым пещерам, образованным в результате растворения горных пород, существует множество пещер, сформированных нехимическими агентами, а также структурные пещеры (см. [Приложение 1](#)). В морских областях фактически каждое скальное побережье изобилует прибрежными пещерами (морскими пещерами), которые в значительной степени сформированы механическими процессами. На суше ветер может способствовать образованию пещер, в то время как подземная механическая эрозия формирует трубообразные полости, некоторые из которых могут достигать размеров пещер. В мире насчитывается много тысяч вулканических (лавовых) пещер, которые формируются во время извержения лавы, и так как многие из них образованы близко к поверхности, в этих районах распространены провальные воронки. Пещеры также формируются во льду под поверхностью ледников и даже доступны для посещения, как в национальном парке Ватнайёкюдль в Исландии. Структурные пещеры, которые формируются во время

переотложения горных пород, также найдены в известковых туфах и травертине, что можно наблюдать, например, в Хуангшоу (Huangguoshu) в Гуйчжоу, Китай.



Пример активной эпигенной пещеры с натёчными образованиями и обломочными отложениями. Пещера Барадла (Baradla) входит в состав объекта всемирного наследия ЮНЕСКО «Пещеры Аггтелекского карста и Словацкого Карста», Венгрия, а также является частью Биосферного резервата ЮНЕСКО и рамсарского угодья. Фото: Csaba Egri.

Охрана пещер и карстовых территорий

Международный союз охраны природы (МСОП) определяет охраняемую территорию как «четко определенное географическое пространство, признанное, специально предназначенное и управляемое через юридические или другие эффективные инструменты для достижения долгосрочной охраны природы, включая соответствующие экосистемные услуги и культурные ценности». МСОП также установил шесть категорий и четыре типа управления (см. [Интернет-ресурсы](#)). Карстовые ландшафты и пещеры упоминаются в категории III «Природный памятник или объект» - как «области, предназначенные для охраны определенного памятника природы, в качестве которого могут выступать наземные формы рельефа, подводные горы, морские пещеры, геологические объекты, такие как пещеры, или живые объекты, например, древние рощи». Кажется, что поверхностные карстовые ландшафты и пещеры в этой категории охраняемых территорий должны быть чётко зафиксированы и хорошо защищены. Однако, те пещеры и карстовые области, которые входят в состав других категорий, могут быть обделены вниманием, особенно если они являются только малой частью охраняемой территории или её цель состоит в охране других объектов. Эта проблема характерна для разных видов и размеров охраняемых территорий. Например, экологическая организация может приобрести участок земли с целью защиты флоры и фауны. Если карбонатные породы обнажаются где-то на этой территории, то, вероятно, в этом месте будут присутствовать карстовые ландшафты и пещеры, которые, возможно, не представляют интереса для владельцев. Это можно наблюдать в международном масштабе, где охрана обеспечивается четырьмя типами охраняемых территорий Организации Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры (ЮНЕСКО), содержащими участки карбонатного или эвапоритового карста: биосферные заповедники (23%), рамсарские угодья (5%), объекты Всемирного наследия (7%) и глобальные геопарки ЮНЕСКО (38%). Однако эти проценты мало о чем говорят, ведь некоторые объекты могут быть почти полностью карстовыми (например, объект Всемирного наследия Шкоцьянские пещеры в Словении, который является также рамсарским угодьем и биосферным заповедником), тогда как в других объектах большинство участков могут быть некарстовыми с небольшими областями известняков (например, объект Всемирного наследия Тассилин-Аджжер (Tassili n'Ajjer) в Алжире). Еще одна проблема возникает там, где участок, который содержит пещеры или карстовый ландшафт, охраняется благодаря другим содержащимся в нём объектам –

например, несколько объектов Всемирного наследия, в пределах которых имеются пещеры или карстовые объекты, определялись также как объекты культурного интереса. Важно, чтобы все охраняемые территории (не важно, под эгидой МСОП или других организаций), в которых имеется карстовый ландшафт, управлялись с учетом его природных особенностей, о которых и рассказывается в этих Рекомендациях.

Карст и растворимость горных пород

Главные группы горных пород с высокой естественной растворимостью – карбонаты (известняк, доломит и мрамор) и эвапориты (соль, гипс и ангидрит). При определенных условиях силикатные горные породы растворимы в достаточной степени, так что они могут сформировать карстовые поверхностные ландшафты и пещеры. Последние больше распространены в карбонатах и эвапоритовых горных породах, хотя есть некоторые обширные карстовые области без пещер. В Англии есть поверхностные карстовые ландшафты, которые содержат сухие долины, карстовые воронки и даже некоторые исчезающие потоки в областях, подстилаемых меловыми и юрскими известняками. Трассирование грунтовых вод от мест питания до выхода на поверхность продемонстрировало их быстрое течение, однако здесь была обнаружена только одна гидрологически активная пещерная система протяженностью более 50 м.

Там, где карбонаты и эвапориты залегают под некарстующимися породами, циркуляция воды продолжается, а значит, пещеры продолжают формироваться. В штате Кентукки, США, известняки перекрываются песчаниками. Большую часть своей длины Мамонтова пещера, самая протяженная в мире и объект Всемирного наследия, простирается под этими известняковыми перекрывающими породами. В случаях межпластового карста закрытые депрессии в некарстовых породах (провальные воронки) на поверхности вызваны обрушением пород в карстовые пустоты в глубине. В других местах может не быть никаких поверхностных свидетельств обширных пещерных галерей под землей, как, например, в случае с пещерой Огоф Дренен (Ogof Draenen) в Уэльсе, Великобритания. Менее 15% из 70 км известных галерей пещеры расположены под областями, где на поверхности обнажаются карбонатные породы, в то время как остальные проходят под областями, которые по характеру поверхности никак нельзя было бы отнести к карстовому ландшафту.

Эпигенные пещеры сформированы там, где вода просачивается с поверхности, а в случае карбонатных пород растворение происходит под действием угольной кислоты, которая формируется, когда углекислый газ растворяется в воде; эвапоритовые горные породы не требуют кислоты и растворяются в воде. Напротив, гипогенные пещеры сформированы кислыми термальными водами, поднимающимися из глубины. У гипогенных пещер обычно нет или почти нет поверхностных проявлений. Расположенная под ландшафтом с единичными поверхностными карстовыми формами и доступная только через одну провальную шахту, пещера Лечугия (Lechuguilla) в национальном парке «Карлсбадские пещеры», объекте Всемирного наследия в Нью-Мексико, США, своими галереями простирается более чем на 242 км с перепадом высот около 480 м. В некоторых случаях гипогенные процессы сформировали большие залы, которые впоследствии обрушились, образовав на поверхности депрессии, которые могут достигать нескольких сотен метров в ширину и глубину, такие как *обрукс* в Турции, которыми усеяно плоское и безликое известняковое плато.

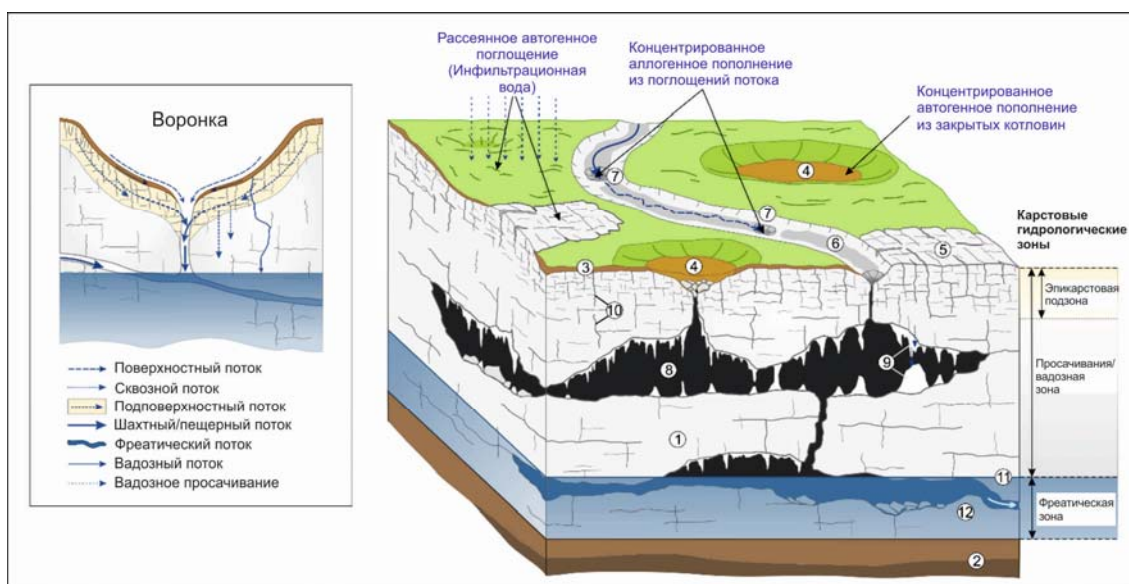


Схема карстовой гидрологической системы. Диаграмма выполнена Марией-Лаурой Турла и Джоном Ганном; несколько измененное содержание вставки принадлежит Gupp (1985). 1 – Карбонатные коренные породы (например, известняки); 2 – Непроницаемая горная порода; 3 – Почвенный покров; 4 – Карстовые воронки; 5 – Карры; 6 – Сухая долина; 7 – Понор (поглощение); 8 – Пещера; 9 – Натёчные образования; 10 – Трещины; 11 – Уровень грунтовых вод; 12 – Сифон (заполненный водой канал).

Резюмируя, отметим, что карстовые ландшафты представляются имеющими характерные черты на поверхности (карстовые воронки, сухие долины, карры) и пещеры под землей. Однако встречаются и области с карстовыми ландшафтами на поверхности, но практически без пещер, либо, наоборот, с пещерами в глубине, но без поверхностных карстовых проявлений, а лишь с межпластовыми карстовыми ландшафтами.

Самые очевидные карстовые объекты образуются там, где карбонатные и эвапоритовые горные породы обнажаются на поверхности на обширной площади (открытый карст), однако во многих областях эти породы перекрыты рыхлыми отложениями, накопленными во время эволюции ландшафта. Их называют покрытым карстом, в отличие от погребённого карста, где ландшафт развился, но затем был заполнен и погребен осадочными отложениями или более молодыми породами. В большинстве случаев такие погребения сокращают перенос воды и рыхлого материала, и такие объекты часто называют ископаемым карстом или палеокарстом. Галереи с неактивными потоками тоже иногда называют ископаемыми, хотя такое использование термина не вполне корректно. Эти галереи скорее реликтовые, поскольку в большинстве случаев они продолжают развиваться благодаря просачивающейся воде, которая питает натёчные образования (общий термин для всех минеральных отложений, образующихся в пещерах), или в силу механического разрушения кровли или стен галереи.



Впечатляющие гипсовые образования в зале Люстры, Пещера Лечугия (объект Всемирного наследия «Карлсбадские пещеры»), Нью-Мексико, США. Лечугия (Lechuguilla) – гипогенная пещера, состоящая из более, чем 200 км галерей с доступом к ним через единственную шахту. Фото: Rainer Straub.

Значение карстовых ландшафтов и пещер

Кроме важности сохранения карстовых ландшафтов и форм рельефа как части стратегии охраны глобального биологического и географического разнообразия, карстовые области часто имеют экономическое, научное и культурное значение. И иногда они вступают в некоторое противоречие между собой.

Карстовые ландшафты – кладёз природных богатств и источник ценных экосистемных услуг. Например, они содержат чистую пресную воду; формируют водные экосистемы и полезны для сельскохозяйственной ирригации; включают огромное биоразнообразие как на поверхности, так и под землей; представляют собой ландшафты и пещеры с высокой региональной и культурной ценностью; формируют почвы, которые обеспечивают основу для сельского хозяйства. Карстовые территории – естественные поглотители углекислого газа, чем помогают смягчать последствия климатических изменений. Все эти ресурсы взаимосвязаны: из-за сложных механизмов обратных связей воздействия на изолированные элементы карстовой экосистемы могут иметь неожиданные последствия, влияющие на всю экосистему или её отдельные части.

Карстовые водные ресурсы были важны для человечества в течение тысяч лет как источник питьевой воды и важный элемент сельского хозяйства (ирригация и разведение рыбы), а в последние 100 лет – как источник

гидроэлектроэнергии. Поскольку карстовые водные источники обычно крупнее и надежнее других, около них часто возникали поселения. До 450 г. н.э. в Китае для ирригации использовались карстовые источники, в то время как майя в Центральной Америке широко использовали пещеры и *ценоты* (заполненные водой карстовые воронки). В 2019 г., по подсчетам, около 10% населения мира (около 700 млн человек) использовали для питья карстовую воду – как из отдельных источников, так и из буровых скважин. Крупнейшим потребителем карстовых вод является Китай, где 150 млн человек зависят от них. Соединенные Штаты – вторая страна по потреблению вод из карстовых областей: приблизительно 50 млн человек, главным образом, в сельских районах. Водоносный горизонт Эдвардс (Edwards Aquifer), штат Техас, США, снабжает водой несколько миллионов человек, включая большие города, такие как Сан-Антонио.

Необходима основательная инфраструктура для транспортировки карстовых грунтовых вод от источников к потребителям. Более 2 тыс. лет назад 11 протяженных акведуков поставляли воду в Рим с расстояний от 16 до 91 км. Крупнейшая карстовая система водоснабжения в Европе снабжает 1,7 млн человек в Вене, столице Австрии, где первый из двух главных акведуков был открыт в 1873 г. В течение XX и XXI столетий подобные крупные инженерные работы были предприняты во многих карстовых областях, например, в Динарском карсте в Хорватии, Боснии и Герцеговине, а также в Китае. Вверх по течению от источников карстовых областей характерно отсутствие поверхностных вод, что ограничило развитие этих территорий. В тех областях, где для известняков типична относительно высокая пористость и проницаемость, буровые скважины обеспечивают высокую производительность (например, в Меловых известняках в Англии), но чаще всего в известняках скважины могут стать продуктивными лишь в 1-2% случаев. Промышленные и сельскохозяйственные загрязняющие вещества быстро распространяются по карстовым водным путям, поэтому эффективная защита данных территорий критически важна.

Карстовые области продолжают использоваться как источник известняка для производства цемента. Растущим городам необходимы поставки высококачественного известняка и щебня. Первый также используется для производства сельскохозяйственной извести, как флюс для выплавки железа и стали и как наполнитель в разных отраслях промышленности (лакокрасочной, фармацевтической и при производстве пластмасс). Карьерные работы могут разрушить пещеры и их содержимое, уничтожить живущие в них организмы и снизить качество воды. Однако грамотное управление способно минимизировать это воздействие. Добыча селитры (нитрат калия) в пещерах Америки (прежде всего в США и Бразилии) была важна для производства пороха в течение XVIII и XIX столетий. Из тысяч пещер была извлечена почва, богатая нитратом, и Португальский королевский двор даже опубликовал инструкцию, как восстанавливать использованную почву, возвращая её обратно в пещеры.

Добыча пещерных отложений гуано для удобрений была распространена во всем мире. Помет птиц и летучих мышей широко использовался в качестве натуральных удобрений до появления искусственных или химических аналогов. Птичье гуано добывалось на о. Науру в Тихом океане и о. Кристиас в Индийском океане, а гуано летучих мышей и в настоящее время добывается в некоторых пещерах штата Техас, США, как источник органических удобрений. В пещере Ниа (Niah) на Борнео собирают гуано пещерных стрижей (а заодно и их гнезда, которые можно весьма выгодно продать). Широко распространена добыча полезных ископаемых, которые накапливают карстовые ландшафты, например, глинозем, свинец и цинк, а также уголь в Китае, а в области Шапада-Диамантина в Бразилии в XIX - начале XX столетиях существовала обширная добыча алмазов в пещерах. Натёки, особенно сталагмиты и сталактиты, также незаконно извлекались из пещер для продажи в качестве сувениров.

Карстовые ландшафты обычно отличаются высоким георазнообразием, особенно это касается внутренней топографии. Таким образом, они обеспечивают большее разнообразие потенциальных сред обитания, чем большинство некарстовых ландшафтов, и часто при этом гораздо более изолированы от окружающей среды, как, например, ландшафты башенного карста. Будучи в значительной степени защищенными от внешних воздействий, пещеры дают уникальное трехмерное представление о геологическом строении территории, которое трудно было бы получить как-то иначе из-за недостатка подходящих обнажений на поверхности (обычно они уничтожаются выветриванием или покрыты почвой и растительностью). С конца XX столетия пещеры использовались как легкодоступные поверхностные аналоги карбонатных нефтяных бассейнов. В тропических ландшафтах пещеры часто отличаются большим разнообразием видов животных и растительности, в том числе редких и эндемичных, живущих на поверхности почвы и под ней. Некоторые карстовые ландшафты служили убежищами для видов, которые сохранились под землей или на поверхности в прохладных влажных микроклиматах, сформированных входами в пещеры и карстовыми воронками, несмотря на экологические изменения, которые устранили их родственников, живущих на поверхности.

Летучие мыши – существа, которые, пожалуй, чаще всего ассоциируются с пещерами, однако карстовые полости населяет множество других, часто эндемичных позвоночных и беспозвоночных животных, некоторые из которых живут маленькими популяциями или хорошо приспособлены к постоянству подземной окружающей среды. Во многих карстовых ландшафтах подземные условия окружающей среды могут быть почти постоянными, и пещерные виды почти не способны пережить экологические изменения, происходящие под землей. Во Вьетнаме примат *лангур делаккура* (белозады гильман, *Trachypithecus delacourii*), находящийся под угрозой исчезновения, является эндемиком для некоторых карстовых районов. На обширной карстовой территории на границе между Вьетнамом и Лаосом большие участки известняковых ландшафтов разделены реками, которые эффективно препятствуют рассеиванию видов. Есть, по

крайней мере, шесть видов листоядных лангуров (*Trachypithecus* spp), каждый из которых – эндемик для определенного известнякового массива. Аналогично в области Гуанси, Китай, фрагментация среды обитания разделяет популяции белоголовых лангуров (*Trachypithecus leucoscephalus*). Уникальная подземная среда обитания формируется в гипогенных пещерах благодаря спелеогенезу с серной кислотой – здесь обитают необычные сообщества или экосистемы, часто полностью изолированные и развивавшиеся независимо от поверхностной окружающей среды. Богатая сероводородом пещера Мовиле в Румынии – родина как минимум для 51 вида, из которых 34 эндемики. Водоносный горизонт Эдвардс – местообитание для более, чем 60 видов, включая адаптированные виды рыб и саламандр, а также несколько видов, характерных лишь для водоносных скважин глубиной более 250 м.

Осадочные породы пещер, защищённые от внешних воздействий, хорошо сохраняют ископаемый костный материал и связанную с ним ДНК. Животные могут упасть в пещеру, прийти туда на водопой или оказаться принесенными потоком воды: в итоге их ископаемые останки дают важную информацию об изменении фауны в течение длительного времени. Колонии летучих мышей и насесты сов в пещерах способствуют накоплению костной массы более мелкой позвоночной фауны. Млекопитающие используют пещеры как убежища, места для спячки или выращивания молодняка: неизбежно некоторые особи погибают здесь, и это позволяет изучать их рост и отношения добыча–хищник. Информация, полученная при изучении ископаемых останков в осадочных породах пещер, позволяет построить картину длительных изменений фауны при смене климата. Это подспорье для понимания, в каких условиях смогут существовать виды в свете современных изменений климата, распространения деятельности человека и фрагментации среды обитания. Данные по окаменелостям в пещерах обеспечивают единственную возможность для оценки долгосрочных изменений фауны при смене климата и дают важные данные для таких прогностических моделей.



Последовательность слоев кальцита в натёке из каплюющей воды – ценный долгосрочный архив изменений в изотопном составе кислорода, используемый для реконструкции климата прошлых эпох. Фото: Csaba Egri.

Оценки климатических условий прошлого уже давно представляют интерес для естественных наук, поскольку они дают объяснение изменяющимся моделям распределения видов растений и животных на планете, включая наш собственный вид. С 1960-х гг. возобновился интерес к реконструкциям климата прошлого в поисках аналогов для изучения атмосферы в условиях глобального потепления. Получил развитие научный подход к изучению пещерных натёков, открыв новые данные по длительным палеоклиматическим архивам. В пределах пещер сталагмиты растут слой за слоем, часто с годовыми циклами и, таким образом, продольный разрез такого сталагмита обеспечивает доступ к микростратиграфии, которая может охватывать от тысяч до десятков тысяч лет. Датирование по урановому ряду обеспечивает абсолютную хронологию, которая может охватывать временной интервал до 650 тыс. лет (уран-ториевый метод) и до нескольких миллионов лет (уран-свинцовый метод). Анализ стабильных изотопов может предоставить данные об изменении

климата еще более далекого прошлого. Данные по изотопам кислорода из китайских пещер позволили изучить долгосрочные изменения силы восточно-азиатского муссона и изменений глобального климата в целом. Данные из нескольких мест в Китае охватывают последние 640 тыс. лет и считаются одними из самых продолжительных непрерывных данных по климату на планете. Чрезмерно быстрый рост пещерных натёков в средиземноморских прибрежных пещерах даёт доступ к исключительно детальным архивам древних изменений уровня моря, вплоть до плиоценовой эпохи. В тропическом лесу Амазонки анализ данных по изотопам углерода из сталагмитов пещер представил ценную информацию об устойчивости леса. Эти пещерные отложения протягивают ниточку к предсказаниям климата будущего, особенно в свете решения неизбежной проблемы исчезновения интенсивно заселённых прибрежных территорий вследствие глобального повышения уровня Мирового океана.

Карстовые ландшафты и пещеры ценятся за их исключительную живописность и рекреационную значимость. На конец 2021 г. 76 объектов Всемирного наследия в 44 странах и 68 глобальных геопарков ЮНЕСКО в 26 странах включали в свой состав карбонатный карст и пещеры. Туризм – главный вид экономической деятельности в некоторых карстовых регионах, включающий использование как оборудованных, так и необорудованных пещер, а также поверхностного ландшафта, и обеспечивающий работой местное население. Туристы начали посещать пещеры со свечными фонарями в конце XIX века; с тех пор произошел бурный рост этого вида туризма: в пещерах сегодня используется светодиодное освещение и электропоезда. В настоящее время имеется около 1600 туристических пещер во всем мире, некоторые из которых посещают до нескольких сотен тысяч человек в год. Например, объект Всемирного наследия Мамонтова пещера, США, принимает около 500 тыс. посетителей, а пещеру Постойна в Словении посещает более миллиона человек в год. Вероятно, эти данные не включают туристические пещеры в Китае, где для широкой публики открыто более 300 пещер. В 2019 г. такие пещеры посетило 150 млн человек, и около 70 тыс. человек были заняты в этом виде туризма во всем мире. Посетить пещеры можно и онлайн – на сайтах есть подробные видео и фото материалы с описаниями, причем производство такого контента – также важный компонент некоторых местных экономик. Такие медиа укрепляют образ пещер и карста как ценных туристических объектов, при этом нуждающихся в охране.

Пещеры всегда использовались как пристанища, в качестве жилья и убежищ во времена конфликтов. В них устраивают святыни или храмы – священные места, вызывающие трепет и благоговение; эти места, оторванные от мирской жизни, хорошо подходят для религиозных обрядов. Пещеры неоднозначны – сегодня это места, предлагающие и защиту, и убежище, а завтра они могут оказаться ловушкой или тюрьмой. Во многих культурах земля ассоциируется с женским началом, а пещеры представляются в виде чрева Матери Земли и связаны с рождением и обновлением. Есть мифы о людях, которые входят в пещеры и оказываются пойманными в ловушку, из которой только можно выбраться, пройдя ряд испытаний. Хотя святость может быть присуща многим другим природным формам и объектам, таким как деревья, родники и горы, самые ранние известные священные места в доисторические времена находились в естественных пещерах, например, в Валле-Дордонь во Франции. Тайские буддистские монахи используют пещеры как тихие убежища для медитации. Если монах становился известным мастером медитации, то его последователи могли украсить пещеру в память о нем.

Природные пещеры долго были центром почитания и часто фигурировали в мифологических и религиозных текстах. Философ Порфирий (234-305 гг. н.э.) считал, что прежде чем появились храмы, все религиозные обряды происходили в пещерах. Он утверждал, что архитектура храмов позаимствовала у пещер сумеречность и единственный вход, а проникновение света в помещение в определенные времена года имело ритуальное значение. Пещера могла также содержать священный источник, который, как полагали, обладал способностью лечить раны и предсказывать будущее.

В католических странах, например, в Бразилии, святыни и даже все церкви в пещерах представляют собой популярные места паломничества. В большой пещере Бом-Жесус-да-Лапа помещались две церкви, которые были местами поклонения с конца 1600-х гг., и которые ежегодно посещают более миллиона человек. Пещера Лурд во Франции, которая признана римско-католической церковью в 1858 г. как место явления Девы Марии, принимает миллионы туристов в год, многие из которых хотят исцелиться или ищут духовного просветления.

Существует множество пещерных храмов в Юго-Восточной Азии. Они удобно расположены вблизи городов, а также окружены ореолом тайны из-за скрытых пространств. Многие пещеры в Таиланде и Лаосе, а также некоторые в Китае содержат буддистские святыни, несколько храмов даосов и буддистов находятся в пещерах около города Ипоха в северной Малайзии, в то время как в Индии и Малайзии много пещер используются как индуистские храмы.

Самый известный пещерный храм находится в комплексе пещер Бату возле Куала-Лумпура (Малайзия); это центр ежегодного индуистского праздника Тайпусам. Пещера стала местом паломничества не только для малазийских индуистов, но также и для индуистов из других стран, включая Индию, Австралию и Сингапур. На японском острове Окинава несколько синтоистских святынь расположены во входных частях пещер.



Пещеры и карст обладают огромным эстетическим и рекреационным потенциалом. Два спелеолога исследуют древнее подземное озеро в пещере Крижна Яма, Словения. Фото: Csaba Egri.



Буддийский пещерный храм, река Нам Оу (Nam Ou), Лаос. Фото: David Gillieson.

Критерии, используемые для оценки значимости конкретной пещеры:

- геологические – уникальные особенности, связанные со структурой пород, стратиграфией, палеонтологией или минералогией;
- геоморфологические – строение галерей, последовательность обломочных отложений и натёчных образований, особенно там, где с их помощью можно восстановить природные условия на поверхности в прошлом;
- гидрологические – наличие подземных водотоков или озер; смещение границ подземных водосборов относительно поверхностных, особенности дренажной сети;
- биологические – касающиеся богатства видов, присутствия редких и вымирающих видов, необычных трофических структур или ключевых участков размножения летучих мышей;
- археологические и культурные – присутствие мощных толщ слоистых отложений, роль пещеры в региональном доисторическом развитии, примеры исторического использования пещеры, такие как добывающая промышленность или управление водными ресурсами, или её духовное и религиозное значение;
- географические – удаленность и нетронутость, близость к дорогам и кемпинговым площадкам, рекреационные возможности и транспортная доступность.

Auler и др. (2018) представили один из подходов к определению приоритетности пещер для охраны окружающей среды на основе строгой оценки уровней значимости. Они использовали 70 статистических параметров, включающие указанные выше, в выборке из 401 пещеры. Оказалось, что биотические параметры, большая протяженность и площадь – наиболее часто используемые. Этот подход может быть адаптирован и уточнен для других карстовых районов при наличии соответствующих данных.

Рекомендации

- (1) *Эффективное планирование для карстовых областей требует полной оценки всех их экономических, научных и общечеловеческих ценностей с учетом местного культурного и политического контекста.*
- (2) *Руководители должны понимать, что в карстовых дренажных системах действия на поверхности приводят к прямому или косвенному воздействию на подземную систему непосредственно в этом месте или вниз по течению.*
- (3) *Чёткое понимание особенностей пещер и их уникальных достоинств необходимо для оптимизации управления любой карстовой областью.*

Особая природа карстовых территорий и пещерных систем

Растворимые породы и развитие подземного дренажа через каналы, объединяющие поверхностные и подземные процессы, порождают сложность и особые характеристики карстовых ландшафтов. Этот высокий уровень связи означает, что любое изменение или воздействие на поверхности сразу отражается на подземном мире, изменяя природные условия в пещерах, их сухопутную и водную фауну.

Наземные природные условия в карстовых районах могут быть контрастными. Даже во влажном климате территория часто бывает засушливой, потому что дождевая вода быстро уходит под землю, благодаря хорошему дренажу. Если коренные породы не перекрываются поверхностными отложениями, карстовые поверхности обычно скалистые с тонким и фрагментарным почвенным покровом. Количество растворимых минералов, таких как кальцит и доломит, в карбонатной коренной породе часто достигает 90-99%. Следовательно, содержание нерастворимых минералов, которые приводят к формированию почвы, составляет только 1-10%. Таким образом, растительность на карбонатном карсте вынуждена приспосабливаться к скалистым почвам, высокому содержанию кальция (щелочность) и засушливым условиям. Исключения наблюдаются там, где растворимые породы перекрыты остаточными (аллогенными) поверхностными отложениями, такими как ледниковые морены (на севере Соединенных Штатов), лёсс (в английском национальном парке “Пик Дистрикт”) или вулканический пепел (в карсте района Кинг-Кантри в Новой Зеландии). В тропических областях почва, покрывающая карст, больше характерна для дождевых лесов или саванн, и бывает, что в значительной степени образовалась из вулканического пепла.

Наземные карстовые экосистемы часто сильно отличаются от соседних ландшафтов по топографии, геоморфологии, гидрологии, почвам и растительности. Карстовые ландшафты с их резкой топографией и контрастными условиями

окружающей среды предоставляют более разнообразную среду обитания, чем некарстовые. Поэтому они способствуют большей биологической вариативности растений и животных, включая редкие и эндемичные виды. В Лаосе известен 21 вид кустарника каперсника (*Capparis* spp. L.), большинство из которых эндемики только этого карстового участка. Около 90 видов криволапых гекконов (*Cyrtodactylus* spp.) – эндемики для карстовых участков, входящих в их ареал обитания от Индии до Юго-Восточной Азии и Меланезии.

Подземная карстовая природная среда отличается от таковой в некарстовых породах гораздо более выраженным развитием и характерными особенностями. Во всех типах пород в той или иной степени происходит движение грунтовых вод по трещинам, но только в карстовых породах текущая вода расширяет трещины, формируя каналы или пещеры, в которые с поверхности частично или полностью просачивается вода. Пещеры в карбонатных породах вообще крупнее, протяжённее и глубже, чем таковые в других типах пород, таких как песчаник (кварцит), конгломерат, лава или эвапориты. Пещера Диер (Deer Cave) в Сараваке (Малайзия) и пещера Шондонг (Hang Son Doong) во Вьетнаме – одни из самых крупных в мире по размерам галерей, в то время как Мамонтова пещера в США – самая протяженная, а пещера Верёвкина в Абхазии – самая глубокая (данные на январь 2022 г.).

В дополнение к пещерам, доступным для человека, существуют малоисследованные, но, вероятно, обширные подземные экосистемы в пределах карстовых каналов с диаметром менее 0,3 м, недоступные для исследований. Это мезопещерная среда обитания. Хотя она пока слабо изучена, по всей видимости, её значение для подземной биоты очень велико: на некоторых карстовых территориях она может включать основную массу популяций многих видов «пещерной фауны». Выше горизонта грунтовых вод заполненные воздухом мезопещерные полости, вероятно, имеют более устойчивый микроклимат, чем в более крупных пещерах, и поэтому выгодно отличаются по своим условиям обитания. Обсуждая антропогенное воздействие и его регулирование на «пещерные» среды обитания или стигофауну, представляется важным затронуть такие каналы меньшего диаметра и их фауну.

Некоторые пещеры, главным образом реликтовые, получают воду только в результате просачивания с поверхности, в то время как в активные пещеры поступление воды и отложений происходит из поверхностных потоков, что может вызывать периодические наводнения. Отсутствие солнечного света для первичной продукции биомассы означает, что большая часть органического материала для пещерной трофической сети должна поступать из поверхностной окружающей среды. Некоторые пещерные экосистемы зависят от геохимических источников энергии, таких как окисление сульфида.

Очевидно, что для пещер характерно постепенное уменьшение освещенности при движении вглубь – до полной темноты, а также почти постоянный температурный режим в глубине. Жизнь в полной темноте развивает другие чувства – тактильные и обонятельные. Так, у фауны, полностью приспособленной к пещере, увеличены усики и придаточные органы, например, те, которые хорошо ощущают вибрацию. Глаза могут быть сильно уменьшены в размере или даже отсутствовать. Эти особенности называют трогломорфией: сухопутных животных этого вида называют троглобионтами, а водоплавающих – стигобионтами.

Подземная фауна классифицируется в соответствии с положением и продолжительностью жизни индивидов в пещерах как трогло- или стигобионты (постоянные пещерные жители), -филы (случайные пещерные жители), и -ксены (посетители пещер). Слепые пещерные рыбы дают хороший пример стигобионта, приспособленного к условиям пещер. Однако в этом есть исключения, поскольку имеются животные – обязательные пещерные жители, которые имеют малую или отсутствующую адаптацию к темноте.

Исходя из мест и продолжительности обитания в пещерах, подземная фауна подразделяется на трогло- или стигобионтов (постоянные пещерные жители), -филов (случайные пещерные жители), и -ксов (посетители пещер). Слепые пещерные рыбы – хороший пример стигобионта, приспособленного к условиям пещер. Однако есть и исключения – ряд животных, постоянных пещерных жителей, могут иметь очень слабую (или вообще не иметь) адаптацию к темноте. Подземную фауну, и особенно стигофауну, можно обнаружить и в некарстовых условиях, но пещеры и карстовые системы грунтовых вод предлагают большее разнообразие сред обитания и большие по размерам пустоты. Поэтому подземная карстовая фауна отличается более высоким биоразнообразием, чем за пределами карста. В подземных сообществах чаще можно найти редкие и эндемичные виды из-за их высокой степени изоляции. Неспособные покинуть свою подземную среду обитания, троглобионты, таким образом, часто ограничиваются единичной карстовой областью или пещерной системой.

Карстовые дренажные бассейны не всегда просто оконтурить. Их очертания, а также пути перемещения карстовых вод не очевидны, потому что по большей части они находятся под землей, а бассейны грунтовых вод обычно не совпадают с поверхностными водоразделами. Кроме того, водоразделы грунтовых вод в карстовом ландшафте лучше всего рассматривать зонально, потому что их площадь стока может варьировать в зависимости от высокого или низкого уровня грунтовых вод. Большая часть воды, проходящей через карст, попадает в него при поглощении потоков. Если эти потоки образуются на непроницаемых горных породах, которые лежат вне границы карстовой области, их называют аллогенными потоками, в противоположность автогенным, образующимся полностью в карстовых породах.

Карстовые экосистемы хрупки по причине экстремальных условий окружающей среды и потому что высокая степень взаимосвязанности в карстовых экосистемах означает, что прямое воздействие на один из элементов этой системы приводит к серьезным косвенным последствиям для других элементов или всей системы. Все это делает многие карстовые системы слабоустойчивыми, неспособными адекватно отвечать на воздействия, сопротивляться повреждениям и восстанавливаться после них.

Карстовые грунтовые воды особенно уязвимы для загрязнений из-за их гидрогеологической структуры – вредные вещества могут легко проникать через тонкий слой почвы и эпикарст, через карстовые воронки или поноры. Термин «эпикарст» относится к нескольким верхним метрам коренных пород, в которых происходит большая часть растворения, и в которых вследствие этого имеется больше пустот, чем в более глубоких слоях. Оказавшись под землей, вода движется намного быстрее через карстовые каналы (проходя до нескольких километров в день), чем в некарстовых грунтовых водах (скорость до метров в год), таким образом, загрязняющие вещества могут распространиться на большие расстояния и воздействовать на подземные виды и экосистемы. Попадая в «ловушку» карстовых водоносных горизонтов, загрязнители могут затем в течение долгого времени выходить через внешние источники.

Карстовые почвы часто хрупки и уязвимы из-за необратимой эрозии, по крайней мере, по человеческим временным меркам. Удаление или деградация растительности (например, заготовка древесины, выпас скота или использование для сельского хозяйства) могут вызвать серьезную эрозию почвы и привести к «скальному опустыниванию», главной экологической проблеме в Динарском карсте Европы и карсте Южного Китая. Деградация естественной растительности и эрозия почвы взаимосвязаны (деградация растительности может вызвать эрозию и наоборот). Они могут привести к уничтожению среды обитания и, таким образом, снижению биологического разнообразия экосистем в поверхностном карсте. Эрозия почвы и связанное уменьшение количества растительности и биологической деятельности уменьшают эффективность карстовых ландшафтов как естественных поглотителей атмосферного CO₂. Растворение в карсте составляет до 29,4% наземного поглощения CO₂ или 10,4% общих антропогенных выбросов CO₂.

Охрана природных процессов, особенно в гидрологических системах, необходима для защиты и управления карстовыми ландшафтами. Это подразумевает потребность в целостном подходе с бережным управлением растительностью и почвами во всех водосборных бассейнах для защиты грунтовых вод и сохранения биологического разнообразия. Потребность в управлении всеми водосборными бассейнами особенно важна для карстовых ландшафтов, по сравнению с ландшафтами других литологических составов. Управление качеством воды аллогенных потоков, стекающих на территорию карстовых районов, и защита карстовых воронок и поноров, которые обеспечивают точечное поступление воды, – главные проблемы в управлении всеми карстовыми областями.

В настоящее время осталось относительно немного мест, где существует возможность для охраны действительно древних карстовых ландшафтов. В дополнение к сохранению и поддержанию таких участков необходимо уделять внимание исправлению негативных воздействий прошлой и современной деятельности человека: например, работать над восстановлением естественной растительности и среды обитания фауны в деградирующих карстовых ландшафтах. Эти типы усовершенствований способны помочь восстановить естественные карстовые процессы.

Рекомендации

- (4) *Сохранение естественного состояния природных процессов, особенно в гидрологических системах, необходимо для защиты и управления карстовыми ландшафтами.*
- (5) *Важнейшим среди карстовых процессов является каскад углекислого газа (CO₂) от низких концентраций во внешней атмосфере до увеличенного уровня в почвенной атмосфере и снова снижения в галереях пещер. Повышенные концентрации углекислого газа в почвах – результат дыхания корней растений, микробной деятельности и здоровой фауны почвенных беспозвоночных. Этот каскад должен поддерживаться для эффективной деятельности карстовых процессов.*
- (6) *Потребность в полном управлении водосборными бассейнами особенно важна для карстовых ландшафтов по сравнению с ландшафтами в некарстующихся породах.*
- (7) *Сохранилось относительно немного древних карстовых ландшафтов, и они должны быть сохранены и поддержаны в первую очередь. В других местах внимание должно быть направлено на исправление любых негативных воздействий прошлых и настоящих методов управления.*

Масштабы управления в карстовых областях

Становится все более очевидным, что рекомендации по управлению карстовыми областями должны принимать во внимание как естественные, так и навязанные извне изменения в их структуре и функциях. Одинаковые инструкции по управлению в сложной карстовой гидрологической системе (или комплексной интегрированной пещерной системе) вряд ли способствуют одинаковой защите непрерывных геоморфологических и экологических процессов в различных

частях системы, и поэтому планирование управления должно принимать во внимание факторы масштаба в карстовой системе. Даже в засушливых карстовых областях может существовать сильный градиент в микроклимате и источниках энергии с удалением от входа в пещеру в её глубину. Поэтому рекомендации по управлению должны принимать во внимание естественные изменения в экологии пещер.

Для некарстового водосборного бассейна, где сток воды находится в основном на поверхности, концепция речного континуума утверждает, что речные биологические и химические процессы глубоко связаны с физическими свойствами потока, особенно с температурой воды, режимом течения и переносом отложений. Таким образом, очевидно, что биологические сообщества изменяются вниз по течению реки, так же как изменяется сама река. Это подразумевает, что биологические сообщества приспосабливаются к специфическим условиям короткого участка потока, или «отрезка потока», где имеются подобные геоморфологические и экологические условия.

Для такого водосборного бассейна пространственные шкалы управления можно представить в таком виде:

*Весь водосборный бассейн -> подбассейн (определяется порядком потока, литологией) -> **протяженность потока** (подобный градиент, субстрат, режим стока) согласно понятию речного континуума.*

Однако для карстового водосборного бассейна мы бы представили так:

*Вклад некарстового водосборного бассейна -> карстовый водосборный бассейн -> карстовый подбассейн -> **пещерная галерея** (различные типы возможности соединения и уровней энергии) -> источник.*

Поступление пищи и энергии из внешних источников становится важным для выживания популяций организмов, составляющих природную среду пещеры. Основной внешний источник – органические остатки, поступающие в пещеру с проточной водой в результате просачивания или с пещерными потоками. Это могут быть мелкие частицы перегноя, употребляемые пещерной биотой, или более грубый материал (прутья, листья и ветви), который сначала перерабатывается бактериями и грибами, чтобы стать пригодным для употребления. В этом плане пещера сходна с верховьями наземных рек. Пещерные участки, которые иногда затапливаются, по-видимому, бедны фауной, в то время как места вдоль главных потоков с прямой внешней связью могут быть весьма богаты видовым составом и биомассой. Хотя эти жители пещер могут быть смыты большими наводнениями, на их месте могут вырастать новые поселения, распространяясь из щелей в породе или мезо-полостей. Другой важный источник внешнего материала получается в результате его переноса воздухом к основаниям карстовых воронок, шахт или систем трещин, выходящих на поверхность. Это особенно важно для высокоуровневых сухих галерей, отдаленных от источников воды, или для пещер в сухом климате. Проникновение корней деревьев в галереи пещер – очень важный источник энергии в большинстве пещер в тропических широтах и для некоторых в умеренном климате. Летучие мыши и птицы могут быть важным внешним источником энергии в форме гуано и останков, и в некоторых экосистемах они выступают главным или единственным источником энергии.

Частота и величина поступления энергии в экосистему пещеры очень важны для сохранения популяций организмов. В областях с холодным климатом движение воды ограничено весенним таянием, вследствие чего биологическая активность имеет выраженную сезонность и особенно возрастает во время основного притока воды и органического вещества, в то время как в другие сезоны она затихает. В областях с сезонным распределением осадков организм, вероятно, приходится приспосабливаться, чтобы пережить засуху в течение шести месяцев или даже дольше при высокой климатической изменчивости. Фауна пещер в тропических областях менее зависима от климата и может быть активной в течение года, хотя воспроизводство может происходить поэтапно, например, из-за влияния борьбы за ресурсы. Важно понимать, что богатство видов, связанное с органическим веществом, не всегда отражает богатство троглобионтной фауны там, где присутствует органическое вещество. Троглобионты чаще всего обитают в бедных пищей пещерных областях и реже встречаются в тропических пещерах, где органический материал более доступен. Сильные изменения в объемах и частоте поступления воды могут серьезно сказаться на биологии пещер, что часто происходит в сельских районах с чрезмерным использованием карстовых вод или поверхностными изменениями, такими как разрушение растительного покрова. Все это влияет на количество и качество просачивающейся воды.

Пещерные галереи или каналы эквивалентны «отрезкам потока» и поэтому рассматриваются как основная единица управления. Галереи с текущим потоком нужно будет управлять по-другому по сравнению с высокоуровневой галереей, в которой редко бывает или вообще отсутствует текущая вода. Связь этих различных типов галерей становится очень важной для понимания потоков массы и энергии в любой пещерной системе. Реликтовые пещерные галереи гипогенного происхождения или палеокарстовые имеют низкую или нулевую связность и практически не способны восстанавливаться после нарушений. Галереи, которые периодически затапливаются, имеют некоторую возможность для восстановления в зависимости от частоты паводков. Галереи с активным потоком и значительным поступлением отложений, органического углерода и некоторых взвесей могут справляться с нарушениями и поддерживать жизнеспособные экосистемы.

Схема связности и уровней энергии для компонентов карстовых систем

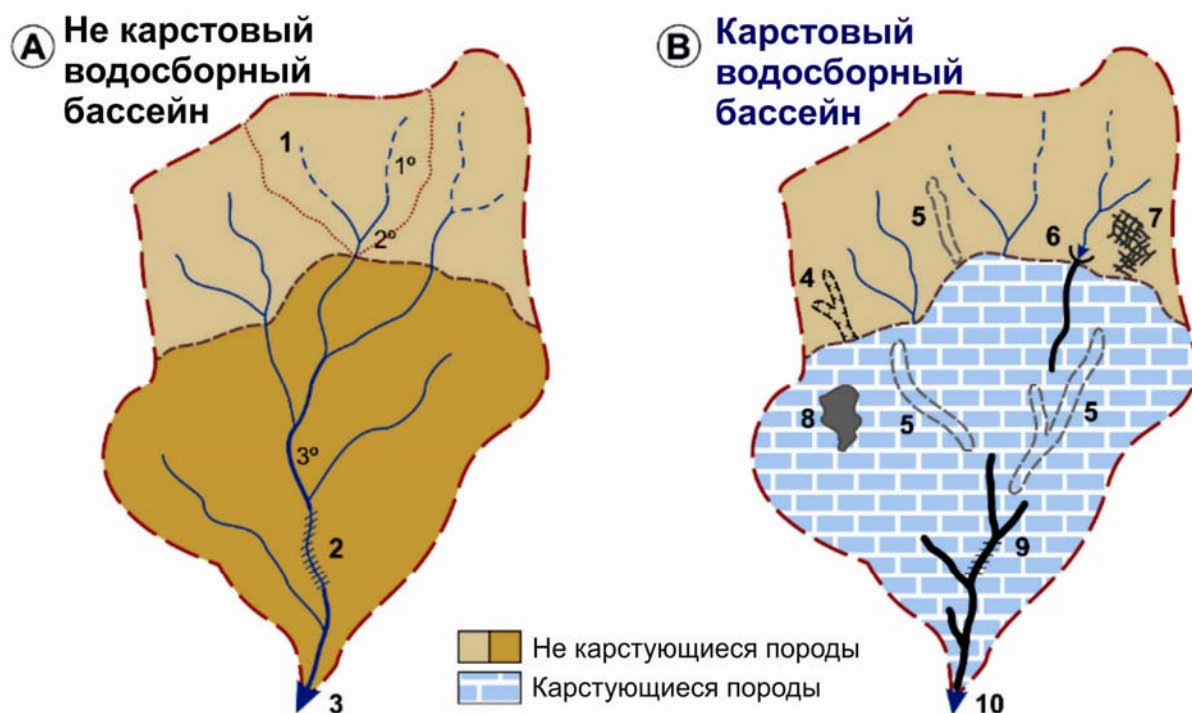
Компоненты карстовой системы	Связность с поверхностью	Энергетические уровни и потоки
Активное поглощение потока	Высокая	Высокие, регулярные паводки приносят грубые обломки дерева, частицы и растворённый органический углерод (DOC)
Другие источники концентрированного поступления, прежде всего закрытые депрессии	Высокая	Высокие, объемы воды обычно ниже, чем таковые в поглощаемых потоках, но транспорт растительных остатков, частиц и DOC
Активная водная галерея	Высокая	Высокие, регулярные паводки приносят некоторое количество частиц и DOC
Источник	Высокая	Высокие, регулярный вынос DOC и обычных твердых частиц
Неактивная водная галерея (более высокого уровня)	Средняя	Средние, периодические паводки приносят DOC
Реликтовая пещера (древняя водная галерея)	Средняя	Просачивающаяся вода приносит DOC в гумидных районах; поток углерода лимитирован в более сухих районах с ограниченными осадками. Гуано может быть в значительных количествах
Мезо-полости или мелкие подземные среды обитания	Средняя	Связность с водными галереями, важные убежища
Гипогенная пещера	Низкая	Экосистемы, основанные на сере и железе, локализованные потоки углерода
Палеокарст	Низкая	Очень низкая, поток отсутствует

В глубине карстовой территории могут быть заполненные водой полости, имеющие гипогенное происхождение (сформированы поднимающимися снизу грунтовыми водами). В водоносном горизонте Эдвардс (Техас, США) имеется много участков, лежащих более чем на 1000 м ниже горизонта грунтовых вод, и они всегда заполнены водой. Именно здесь обитает наибольшее количество видов уникальной фауны, приспособленных к водоносному слою, но отличающихся от фауны поверхностных водотоков. Эти виды восприимчивы к извлечению воды из скважин и к потенциальным воздействиям на плохо защищенных и заброшенных скважинах. Более шестидесяти других водоплавающих видов обнаружено в артезианских скважинах, включая двух слепых сомиков.

Отдельная карстовая гидрологическая система (или пещерная система) может содержать несколько компонентов или типов галерей, от активных водных галерей до неактивных высокоуровневых галерей, например реликтовых, которые плохо связаны с остальными. Каждый тип галерей требует своих рекомендаций по управлению, однако в итоге они должны быть интегрированы на уровне водосборного бассейна или его части и включать в себя соображения о направлениях потоков, источниках энергии, типах и режимах нарушений, а также о стратегиях смягчения последствий. На самом широком уровне всего водосборного бассейна как карстовые, так и некарстовые компоненты должны быть оценены с точки зрения потоков вещества и энергии и вероятных источников нарушения и/или загрязнения.

Один из методов достижения такого масштаба управления – использование пространственных моделей. Индекс нарушения карста (Karst Disturbance Index), впервые предложенный Van Beynen и Townsend (2005), даёт возможность оценить антропогенные воздействия на карстовые ландшафты. Он использует пять категорий экологических показателей: геоморфологические, гидрологические, атмосферные, биотические и культурные, для которых могут быть определены уровни или диапазоны нарушений. По идее, показатели в каждой категории должны быть простыми в получении (и недорогими), легко воспроизводимыми и быстро реагирующими на изменения окружающих условий. Источники данных включали полевые съёмки, пространственные данные, топографические карты, аэрофотосъёмку и экспертные оценки от местных исследователей пещер и правительственных чиновников. Оценка индексов может быть или полуколичественной (ранжирование данных, классифицированные площади или процент покрытия) или качественной (тип местоположения или тип развития пещеры). От показателя можно отказаться, если он не характеризует рассматриваемую территорию. Полный Индекс нарушения получается из суммы всех полученных баллов,

делённой на максимально возможную сумму баллов. Преимущество индекса состоит в том, что заинтересованные стороны могут проследить за тем, как именно был получен каждый показатель, в то время как общее состояние карстовой окружающей среды описывается в упрощенном виде и легко сопоставимых категориях, поэтому доступно для сотрудников природоохранных ведомств и директивных органов.



Сравнение пространственной организации некарстовых и карстовых водосборных бассейнов. 1 – подбассейн; 2 – протяженность потока; 3 – выход из дренажного бассейна; 4 – пещера без свода; 5 – реликтовая пещера; 6 – активное поглощение; 7 – гипогенная пещера; 8 – палеокарст; 9 – пещерная галерея; 10 – карстовый источник. Диаграмма: Maria-Laura Tirlă.

Карстовые гидрологические системы особенно подвержены загрязнению из-за быстрых связей между поверхностью и водоносным слоем. Внутренняя уязвимость определена свойствами карстовой окружающей среды. Она связана с «транспортом воды» в карстовом ландшафте и учитывает толщину почвы, скорость инфильтрации, густоту трещин в эпикарстовой зоне, распределение карстовых воронок и изменение гидравлической проводимости. В совокупности это определяет потенциальную уязвимость, а вместе с учетом землепользования и инфраструктуры (дороги, водоснабжение, свалки или точечные источники загрязнения) создает особую уязвимость. Эти подходы к оценке уязвимости пространственно объединены в моделях уязвимости грунтовых вод (GVM), которые определяют величину уязвимости водоносного слоя к антропогенному загрязнению. Одна из наиболее популярных моделей – ЕРІК – была специально разработана для карстовых водоносных слоев. Любой пользователь модели GVM должен быть уверен в точности используемых входных параметров, поскольку некоторые из них очень трудно определить количественно.

Рекомендации

- (8) Единый подход к управлению сложной карстовой гидрологической системой (или комплексной интегрированной пещерной системой) вряд ли сможет адекватно защитить текущие геоморфологические и экологические процессы в различных частях системы. Поэтому планирование управления должно принимать во внимание факторы масштаба в карстовой системе.
- (9) Биология большинства пещер в значительной степени зависит от источников пищи, поступающих из поверхностной окружающей среды. Поступление пищи и энергии из внешних источников важно для выживания популяций организмов, а частота и величина поступления энергии в экосистему пещеры необходимы для поддержания популяций организмов.
- (10) Отдельная карстовая гидрологическая система (или пещерная система) может содержать несколько компонентов или типов галерей, от активных водных галерей до бездействующих высокоуровневых галерей, так же как плохо связанных реликтовых галерей. Каждый тип потребует различного предписания управления.

- (11) В пределах карстовой области некоторые участки могут иметь разную чувствительность к загрязнению грунтовых вод. Поэтому необходимо комплексное планирование использования земель с целью охраны карстовых грунтовых вод.



Очень активный участок пещерной галереи, для которого характерны регулярные наводнения: пещера Шкоцианска Яма, Словения. Уровень потока Река, протекающего через пещеру, может подняться на более чем 50 м и достичь уровня туристского тропы, которая видна в верхнем левом углу фотографии. Шкоцианска Яма – рамсарское угодье, входящее в объект Всемирного наследия Шкоцианская пещера и карстового биосферного заповедника ЮНЕСКО. Фото: Csaba Egri.

Человек и карст: воздействие и смягчение последствий



Пример антропогенного воздействия на карстовую территорию. Диаграмма: Maria-Laura Tirlă u Bogdan Bădescu.

Рекреационное и приключенческое посещение пещер

Введение

Люди посещали пещеры с незапамятных времен, о чем свидетельствует пещерное искусство и найденные в пещерах артефакты. Наиболее широко использовались входные части пещер как хорошее укрытие, но люди заходили и в темные части вдали от входа, скорее всего, в ритуальных целях или в поисках воды, как делали майя в Центральной Америке. Хотя люди продолжали жить во входных частях пещер и до нашего времени, первый этап обживания пещер сменился другим, когда пещеры обросли мифами: их стали опасаться как прибежище предполагаемых монстров и злых духов или считали воротами в ад. В Европе этот период невежества и суеверия продолжался до XVI столетия – за ним последовало время путешествий, исследований и рождения естественных наук (по крайней мере, для тех, у кого было достаточно власти и средств, чтобы воплотить эти устремления).

История посещения пещер в исследовательских целях относится, главным образом, к Европе, но некоторые случаи были зафиксированы и в Китае. Они связаны с Сюй Сякэ (Xu Xiake, 1587-1641 гг.), первым в этом регионе спелеологом и ученым, специализирующимся на изучении карстового ландшафта. [На западе существует термин «caver» для людей, посещающих необорудованные пещеры; в России специального термина для посетителей пещер нет, и их так же, как ученых, изучающих пещеры, называют спелеологами. Термины спелеотурист и спелеотуризм в России не прижились. Примечание переводчика]. Постепенно люди перестали бояться подземного мира, начали его исследовать и любоваться им. Поначалу пещеры исследовались учёными, такими как археологи, биологи, геологи и географы, которые привыкли работать на поверхности. К XIX столетию некоторые из них начали интересоваться непосредственно пещерами и именовать себя спелеологами. В то же время наблюдался рост интереса к географическим экспедициям в другие страны, горным восхождениям и, как следствие, спускам в пещеры. В XXI столетии почти не осталось легкодоступных мест, которые бы не посещались людьми, и осталось всего несколько непокорённых горных вершин, однако каждый год спелеологи исследуют и наносят на карту многие десятки километров ранее неизвестных пещер. За первыми исследователями пещер стали приходить те, кто посещал их для отдыха и удовольствия. Есть поговорка, видимо, родом из XV века: «Как только кто-то найдет место для наслаждения, другой тут же найдет способ делать из этого деньги». Появилась целая отрасль, в которой гиды предлагали свои услуги тем, кто желает принять участие в приключениях на открытом воздухе (в том числе под землёй). Самая старая известная экскурсия в пещерный мир, как полагают, произошла в пещере Рид Флут в Китае – в ней нашли надписи от 792 г., времени династии Тан. Первый зарегистрированный тур в пещеры в Европе проходил в пещере Постойна, Словения, в 1213 г. В пещере Виленица, также в Словении, собирали входную плату с посетителей с 1633 г.

Учитывая вышеизложенное, сегодня, в XXI столетии, мы можем выделить несколько групп людей, которые посещают пещеры:

- широкие массы, посещающие пещеры в составе экскурсий или в религиозных целях;
- спелеологи, участвующие в исследовании пещер;
- рекреационные посещения пещер (свободный доступ);
- приключенческие посещения пещер (в сопровождении инструктора);
- ученые, которые изучают пещеры или используют материал из пещер в своих исследованиях;
- «случайные» посетители пещер, для которых это не главная цель: например, участники спортивных забегов по трассам, проходящим через пещеры.

В экскурсионных пещерах и тех, которые используются в религиозных целях, имеется искусственное освещение и дорожки, а значит, они доступны для любого желающего (в некоторых даже есть специальный доступ для инвалидов). Напротив, посещение пещер в приключенческих, рекреационных и исследовательских целях требует индивидуального источника света (обычно устанавливается на шлем) и какого-то количества снаряжения и спецодежды. Рекреационное посещение пещер происходит на участках, которые уже были ранее исследованы и нанесены на карту, в то время как исследователи пещер стремятся получить доступ к ранее неизвестным галереям, наносят их на карту и документируют свои открытия. Для этого может быть снаряжена экспедиция в ранее не исследованную область, организованы разбор завалов в конце известных галерей, внутренние восхождения или подводные погружения. Такие посетители пещер могут быть полезны в контексте оценки воздействия человека на пещеры и управления ими. Важно подчеркнуть, что один человек может выполнять сразу несколько функций. Например, спелеолог может потратить часть своего времени на исследования, но не забыть и про развлекательный аспект посещения пещер, равно как принимать участие (или возглавлять) в приключенческом посещении пещер и в организации экскурсий в оборудованные пещеры.

С точки зрения управления у любой карстовой области, вероятно, будет несколько типов использования пещер. Во-первых, экскурсионные пещеры и пещеры религиозного назначения. Во-вторых, участки для приключенческого посещения пещер, многие из которых будут обустроены для повышения безопасности. Наконец, большая часть участков сохраняется для рекреационного посещения и исследований. В данном разделе мы сосредоточимся на приключенческом и рекреационном посещении пещер, а также исследовательской спелеологии. Посещение многих необорудованных или «диких» пещер сопряжено с высоким риском воздействия на пещерные экосистемы, особенно в тех случаях, когда статус охраняемой территории предусматривает управление водосборным бассейном.

Исследование и описание пещер

В отличие от других видов рельефа, протяженность исследованных пещерных галерей ежегодно прирастает многими километрами – как результат усилий исследователей пещер. Такие исследования подразделяются на: 1) исследования через вновь открытый вход или вновь открытую галерею в известной пещере и 2) исследования, которые требуют изменений пещерных входов и галерей. В большинстве стран с длительной историей пещерных исследований редко можно найти входы в пещеры, которые бы не были ранее исследованы и описаны. В других местах, чаще всего в тропиках и в высоких широтах, у исследовательских экспедиций больше шансов обнаружить новые, в основном неизвестные пещерные системы. В тропических областях пещеры с относительно простым доступом могут посещаться местными жителями, если только это не глубокие шахты или входы в основании карстовых воронок с крутыми склонами. Исследователи этих пещер несут ответственность как за регистрацию своих открытий, включая информацию об объектах особого научного значения, так и за принятие мер для обеспечения охраны пещеры, если она была недавно обнаружена (см. [Этический кодекс Международного союза спелеологов \(МСС\)](#)). В частности, важно заинтересовать местных жителей в том, чтобы они предоставляли информацию о местоположении пещер и их значении (в том числе религиозном), которое может быть полезно исследователям и более широкому сообществу, и проинформировать их о том, как можно сохранить ценности пещер.

В известных пещерах могут существовать галереи, не описанные первыми исследователями: в основном потому, что попасть в них довольно трудно. Например, они могут располагаться высоко над известной галереей или быть заполнены отложениями или водой. Галереи высокого уровня исследуют пещерные восходители, которые обычно используют крючья или другое фиксирующее оборудование для безопасного подъема. Это неизбежно приводит к появлению незначительных повреждений на стенах галереи. Исследование заполненных водой полостей (сифонов) выполняется пещерными дайверами, которые могут получить доступ к сухим участкам за сифонами. Там, где эти галереи за сифонами обширны, может возникнуть необходимость соорудить альтернативные входы, которые не требуют подводного плавания, что может быть проблематичным, если новые галереи имеют высокую эстетическую или научную ценность.

Множество новых пещерных галерей были обнаружены после изменений формы галерей после раскопок – инженерных работ. Используемые методы могут включать удаление отложений, укрепление путей через глыбовые завалы для их стабилизации, отведение потоков, дренаж статических сифонов (заполненные водой галереи) и использование взрывчатых веществ, чтобы расширить узкие галереи. Эти изменения должны быть минимальными, проводиться только для получения доступа и только после того, как была проведена оценка потенциальных воздействий в ближайшей и

долгосрочной перспективе, а также только в том случае, если важность открытия стоит тех воздействий, которые предполагают изменения.



Исследование глубокой шахты в пропасти Мишель Гортани (Michelle Gortani), плато Канин, Италия. Фото: Csaba Egri.

В охраняемых областях менеджеры должны требовать разрешение для проведения всех видов инженерных работ в пещерах, и полезно в этом отношении рассмотреть опыт некоторых стран. Ассоциация исследователей пещер Дербишира совместно с Natural England (государственный вневедомственный орган правительства Соединённого Королевства, ответственный за обеспечение защиты и улучшения состояния окружающей среды Англии) разработали документ, адресованный лицам, проводящим раскопки в «местах особой научной важности» (см. [Интернет-ресурсы](#)). При рассмотрении заявлений на раскопки должно быть установлено, что успешные работы увеличивают научную важность участка, обеспечивая доступ к новой галерее и объектам научного интереса. Однако при этом заявители на проведение раскопок должны взять на себя обязательство по уменьшению воздействий, например, осторожному прокапыванию траншей через заполненные отложениями галереи, а не полному удалению отложений. Если раскопки успешны, возникает требование полностью задокументировать и описать открытия, включая составление карты и фотографирование. Эта информация должна быть предоставлена менеджеру по охране данной области, который принимает решение, требуется ли последующее научное исследование. В это время новая пещера или её участок должны быть зарегистрированы, после чего проводится оценка того, как они могут быть лучше всего защищены. Если участок отличается повышенной экологической уязвимостью, исследователи должны запланировать наилучший маршрут через него и гарантировать, что намеченный маршрут четко промаркирован для всех, кто следует за ними. Также требуется убрать всё лишнее оборудование по завершению инженерных работ, особенно если они оказались неудачными. За исключением отдалённых областей, недавно обнаруженные пещеры и галереи могут вызвать сильный интерес у сообщества любителей пещер, поэтому времени для обеспечения полноценной охраны открытого участка обычно совсем немного.

Большинство исследователей пещер публикует подробности своих открытий в журналах, информационных бюллетенях или (всё чаще) в Интернете. Обычно они включают детальные карты и описания, которые представляют важный информационный источник о ресурсах пещеры. Во многих карстовых областях фактически всё, что известно о пещерах, — это результат усилий таких исследователей. Некоторые охраняемые области зависят от сообществ исследователей пещер в вопросах получения информации, и в некоторых случаях менеджеры сотрудничают с ними в аспектах управления. Более адекватный стиль управления возможен там, где представители органов управления развивают собственный спелеологический опыт. Для этого можно нанимать специалистов — научных сотрудников для консультаций

по вопросам, связанным с пещерами – и развивать собственную компетенцию по исследованию пещер на оперативном уровне посредством обучения персонала.



Исследование пещеры иногда требует удаления отложений, чтобы открыть вход в недоступную галерею. На обоих изображениях показаны шахты, укрепленные временными перекрытиями для предотвращения обвалов. На левом изображении шахта была выкопана до глубины 4 м к открытой щели, приводящей к пятидесятиметровой галерее с впечатляющими натёками. На правом изображении труба была установлена, чтобы улучшить вентиляцию. Все изъятые пещерные отложения были сложены в мешки в доступном месте. Примерно через 5 м копатели попали в открытую галерею, имеющую высокую научную ценность. Оба прокопа были в «местах особой научной важности» и были разрешены законными властями. Прокоп справа находился в конце экскурсионной пещеры и был выполнен при поддержке её владельца. Фото: Rob Eavis.



Верхний по течению вход в пещеру Ксе Банг Фай (Xe Bang Fai), национальный парк Хим Нам Но (Hin Nam No), Лаос. Пещера была открыта для приключенческих туров с 2012 г. Фото: John Spies.

Рекреационное посещение пещер

Под рекреационным посещением пещер (иногда его называют спортивной спелеологией) понимается «посещение для удовольствия» – и обычно в таких случаях ходят в известные (ранее описанные) пещеры. Это примерно как пеший или горный туризм. В европейских странах и в Америке рекреационное посещение пещер (в противоположность исследовательскому) стало популярным в начале XX века. Люди объединялись в клубы единомышленников – от

нескольких человек до больших и хорошо организованных групп. Доступность личного снаряжения, а также освоение техники работы с веревкой позволило посещать пещеры небольшим группам, не принадлежащим крупным спортивным клубам. Однако и сегодня, в XXI столетии, большинство посетителей пещер в рекреационных целях остаются членами спелеоклубов. Доступ к пещерам – ключевое требование для рекреационной спелеологии, и во многих странах спелеоклубы объединились, чтобы сформировать региональные или национальные ассоциации для поиска и улучшения доступа в пещеры, а также для защиты и охраны наиболее посещаемых пещер. Национальные органы также обычно предоставляют страховку, как своим участникам, так и землевладельцам, на территории которых имеются пещеры. В 1965 г. был организован Международный союз спелеологов (МСС) – международная организация для посетителей пещер и спелеологов; на январь 2022 г. в нём было 57 стран-членов. В МСС есть Комиссия по охране карста и пещер, участники которой способствовали созданию этих Рекомендаций.

Сегодня большинство туристов, посещающих пещеры в рекреационных целях, ценят красоту, хрупкость и научную значимость подземных ландшафтов, однако бывает и иначе, когда пещеры получают серьезные повреждения, как преднамеренно, так и по незнанию. Характерной проблемой в XXI столетии стало увлечение так называемой «скоростной спелеологией», цель которой состоит в том, чтобы достичь определённого пункта в пещере и вернуться назад на поверхность в самое короткое время, не особенно заботясь о потенциальном воздействии на пещеру. Преднамеренный вандализм обычно включает отламывание натёков на сувениры, разрушение естественной структуры слоистых отложений во время грязевых поединков или создание скульптур и горок, равно как и нанесение надписей на стены. Если пещера охраняется или расположена на охраняемой территории, такие действия могут повлечь судебный иск, если нарушителей удалось определить (в США были успешные судебные разбирательства), но это не компенсирует разрушения. Натёки и серии обломочных отложений невосполнимы относительно времени жизни человека. Непреднамеренный ущерб возникает в результате непонимания и неуважения по отношению к пещерам. В частности, многие исследователи пещер, признающие ценность натёчных образований и необходимость в их защите, при этом не ценят научную важность обломочных и глинистых отложений, рассматривая их просто как «грязь».



Тонкие сталактиты-соломины в Grote Cactl (Castle), Пещера Холлоу Хилл (Hollow Hill), Ваитомо, Новая Зеландия. Для их охраны была применена политика бережного доступа и правила минимального воздействия на пещеры. Фото: John Gunn.

С середины 1990-х гг. беспокойство из-за воздействий спелеологов на пещеры привело к разработке во многих странах этических кодексов, правил по охране пещер и норм минимального воздействия. Цель этих документов состоит в том, чтобы убедить исследователей рассматривать каждое посещение пещер с точки зрения сохранения и безопасности, а национальные и местные организации спелеологов – уделять первоочередное внимание охране пещер. В стране, где действует такой кодекс, исследователи пещер обязаны ознакомиться с правилами и следовать им. В охраняемых районах выполнение требований кодекса должно быть неукоснительным. В тех странах, где нет подобных кодексов,

менеджеры охраняемых районов должны разработать правила для пещер в своей области, используя материал уже изданных ранее подобных документов. Примеры приведены ниже.

ПРИМЕРЫ КОДЕКСОВ СПЕЛЕОЛОГОВ

Международный союз спелеологов (МСС) руководствуется «Этическим кодексом для исследования пещер и научных исследований в зарубежных странах» [<https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/03/Code-of-Ethics-of-the-UIS-English-Language.pdf>]. Название слегка вводит в заблуждение, поскольку это важный документ затрагивает как «Спелеологические экспедиции в зарубежные страны», так и «Приключенческий гео- и есотуризм» и «Общее посещение пещер в своей стране». Помимо этого, существуют также руководящие принципы для «Развития экскурсионных пещер» и для «Научного отбора проб», и это отдельные документы МСС.

Австралийская спелеологическая федерация выпустила в 1995 г. один из самых ранних «Пещерных кодексов минимального воздействия», и его последняя версия (2010) находится тут <<https://www.caves.org.au/administration/codes-and-standards>>. Этот кодекс разделен на две части: одна касающаяся общих посещений пещер и другая посвящена исследованиям недавно обнаруженных пещер или их участков.

Британская спелеологическая ассоциация выпустила «Руководство по спелеологии с минимальным воздействием» вместе с Natural England, государственным вневедомственным органом правительства Соединённого Королевства, ответственным за обеспечение защиты и улучшение состояния окружающей среды Англии [<https://british-caving.org.uk/our-work/cave-conservation/>]. Руководство стремится минимизировать воздействие, но также и включает рекомендации по защите и восстановительным работам как в пещерах, так и на поверхности.

Новозеландский департамент охраны природы разработал «Кодекс охраны пещер» <https://www.doc.govt.nz/parks-and-recreation/things-to-do/caving/caving-guidelines/>, задача которого – минимизировать воздействие посещений пещер на окружающую среду и других людей.

Национальное спелеологическое общество (США) имеет набор «Руководств по спелеологии с минимальным воздействием», которые регулярно обновляются, последний раз в феврале 2021 г., принимая во внимание пандемию ковида [<https://caves.org/conservation/cavingcode.shtml>]. Авторы делают важный вывод: рекомендации должны постоянно обновляться по мере поступления новой информации об окружающей среде пещер, а спелеологи оценивают и пересматривают свою деятельность в пещерах.

С начала и до середины XX столетия информация о пещерах, включая местоположение входов, обычно предоставлялась только членам спелеоклубов, что обеспечивало определенную степень их охраны. В некоторых странах так происходит и по сей день, особенно если пещеры уязвимы или в них продолжаются исследования. В США с 1988 г. Федеральный закон о защите ресурсов пещер охраняет их на федеральных землях. Согласно закону, местоположение самых значимых пещер не всегда подлежит раскрытию для широкой общественности. Однако в других местах рост интереса к региональной спелеологии привёл к публикации путеводителей с базовой, а иногда и довольно подробной информацией о местоположении входов в пещеры. В Интернете значительно увеличилось количество информации о пещерах, включая точные координаты входов, позволяющие любому, имеющему GPS, легко определить их местонахождение. Вместе с ростом пользователей социальных сетей увеличивается количество людей и групп, которым не хватает подготовки или опыта, но которые решают посетить пещеры и размещают видео своих посещений в Интернете. Неизбежным последствием стало увеличение числа несчастных случаев и повреждений пещер, как преднамеренных, таких как надписи на стенах и откалывание «сувениров», так и непреднамеренных, включая несоблюдение маркированных маршрутов в обход обломочных отложений или областей с массивными натёками, а также попытки маркировки маршрутов в пещерах, строя пирамидки из камней или рисуя стрелки на стенах. Это доставляет особые хлопоты менеджерам охраняемой области, поскольку такие посетители не являются частью спелеологического сообщества и поэтому не в курсе требований, установленных кодексами охраны пещер. Плакаты на входах в пещеры или внутри приносят пользу, но единственное средство обеспечить достойную защиту состоит в том, чтобы охранять или входы в пещеры, или доступ к особо уязвимым участкам в пределах пещер (см. «[Ранжирование пещер как инструмент управления](#)»). Возможность установки входных дверей требует осторожного подхода, чтобы гарантировать, что они безопасны, не влияют на эстетическую привлекательность и не препятствуют движению фауны, воздуха или воды, а также не мешают спасению пострадавших посетителей.

Пещерный дайвинг чаще всего используется для исследований, о чём и сказано в главе «[Исследование и описание пещер](#)», но в некоторых странах он бывает и рекреационным. В отличие от исследовательского пещерного дайвинга, которым в значительной степени занимаются люди со спелеологическим опытом, рекреационный пещерный дайвинг обычно проводится дайверами, работающими вне пещер на открытой воде, которые, возможно, не полностью понимают риски, которые пещера ставит перед ними, или риски, которые представляют они для подводной окружающей среды пещер.

Рекреационные посетители пещер, которые занимаются этим видом спорта в течение нескольких лет, часто специализируются на таких аспектах спелеологии, как подземная фотография, картография пещер, спасение в пещерах, пещерная наука или исследование пещер. Это приносит свои плоды: фотографии из пещер способствуют распространению информации о ценности пещер в обществе, поддерживая усилия по их охране; планы пещер – важные инструменты для менеджеров, учёных и спасателей; готовность к спасению имеет преимущества с точки зрения безопасности и охраны природы; сотрудничество между посетителями пещер и учеными дополняет наши знания об этих системах и снижает риск воздействия исследователей на пещеры. Спелеологические группы также иницируют проекты «Забота о карсте», нацеленные на удаление мусора из пещер или восстановление поврежденных объектов. И хотя исследователи пещер могут по-разному относиться к охране этих объектов, есть много примеров конструктивных отношений между менеджментом и местными группами исследователей. Такие отношения несут очевидную выгоду, не в последнюю очередь, затрагивая согласие с условиями доступа в пещеры. Некоторые охраняемые области подходят к этому структурировано, вовлекая заинтересованные стороны в комитеты управления пещерами или в рабочие группы. Это создает возможности для диалога вокруг спорных проблем, включая ограничение на доступ в пещеры. Любые новые ограничения будут с большой вероятностью восприняты отрицательно и, скорее всего, будут проигнорированы, если не разъяснить их представителям сообщества исследователей пещер.



Озеро Чанделар (Chandelar), Пещера Лечугуиля (Lechuguilla), объект Всемирного наследия «Национальный парк Карлсбадские Пещеры», Нью-Мексико, США. Поскольку пещера имеет высокую научную ценность и экологически уязвима, доступ в неё возможен только ученым, поисково-разведочным группам, получившим на это специальное разрешение, а также для работ, связанных с деятельностью Государственной службы национальных парков. План управления опубликован (см. [Интернет-ресурсы](#)). Фото: Rainer Straub.

Приключенческое посещение пещер

Приключенческое посещение пещер (также известное как посещение пещер с инструктором или «дикарем») охватывает широкий спектр от очень скромных до хорошо организованных платных подземных путешествий. Многие из тех, кто предлагает приключенческие посещения пещер, это частные (работающие на себя) инструкторы, подобно гидам в горных восхождениях, трекинге и других активностях. Любители, которым интересен опыт посещения пещер и, реже, региональные исследователи пещер, которым нужен проводник в сложной системе пещер, нанимают инструкторов, обеспечивающих всё необходимое оборудование для выбранной пещеры. Инструкторы также могут работать в центрах экологического образования – они по большей части обслуживают школьные группы, хотя есть также центры и группы для взрослых, обеспечивающие корпоративный тимбилдинг. Кроме того, некоторые экскурсионные пещеры предлагают приключенческое посещение как дополнение к туру (турам), доступному для широкой публики. Большинство инструкторов, работающих в пещерах, получает оплату за свои услуги, но встречаются и добровольцы.

В развитых странах высокий уровень обучения инструкторов по безопасности – частое требование закона или страховых компаний. В Австралии и Новой Зеландии инструкторы обязаны пройти специальное обучение – обычно это однолетний очный курс, который охватывает все аспекты приключенческого туризма, включая первую помощь, спасательные навыки и инструктаж. И если необходимость обеспечения безопасности посетителей пещер очевидна, не меньшее внимание следует уделить и охране пещер, подчеркивая важность сохранения их геонаследия и экосистем. К сожалению, некоторые пещеры всё ещё не оправились от тех времен, когда инструкторы устраивали для групп грязевые поединки, чтобы «прокачать» их подземный опыт. Это привело к повреждению важных обломочных отложений и налипанию грязи на стены пещер и натёки.

Национальная спелеологическая организация (при её наличии), вероятно, лучше других справится с сертификацией инструкторов и обеспечением равных гарантий безопасности людей и охраны пещер. Британская спелеологическая ассоциация (БСА) предлагает два национально признанных сертификата для инструкторов и гидов, которые ведут людей под землю – Местная схема оценки руководителей пещер и шахт (LCMLA) и Сертификат пещерного инструктора (CIC). Схема LCMLA «обеспечивает оценку компетентности всех, кто берет ответственность за других под землей, в пользу работодателей или властей. Главные приоритеты – одинаковая безопасность группы и охрана хрупкой окружающей среды». Есть также местные группы инструкторов в Великобритании, такие как Peak Instructed Caving Affiliation (PICA), охватывающая пещерный район Peak District и относящаяся к Дербиширской спелеологической ассоциации, одному из региональных советов БСА. В сферу компетенции PICA входит «обеспечение информации о безопасности и охране пещер и шахт, которые могут использоваться инструкторами LCMLA и CIC в нашем районе».



Пещера Брежойнс (Brejões) в семиаридном регионе Бразилии часто используется для приключенческого туризма. В ней есть большие галереи и массивные натёки. Фото: Philippe Crochet.

Перечень мест, которые могут использоваться гидом-инструктором, очень важен, потому что с его помощью можно выяснить, какие места не подходят для приключенческого посещения пещер из-за недопустимых рисков для неопытных посетителей или из-за риска нарушения подземной окружающей среды. В более обширных пещерах рекомендуется проведение оценки уязвимости для разделения пещеры на зоны. Надежные галереи, содержащие немного объектов, восприимчивых к повреждениям, могут подходить для посетителей пещер с небольшим опытом или без него. Галереи со средней ценностью, вероятно, подходят для приключенческого посещения пещер, если у участников есть небольшой опыт или если соотношение инструктора/ов к участникам таково, что риск повреждения может быть минимизирован. Существуют некоторые пещеры и пещерные области, где риск повреждения геонаследия или экосистем настолько велик, что они не подходят для приключенческого посещения. Проводя оценку уязвимости, важно рассмотреть пропускную способность пещеры, поскольку посетители неизбежно вызывают совокупное воздействие как на физические, так и на биологические ценности пещеры или её участка.

Небольшие мероприятия составляют большинство приключенческих посещений пещер во всём мире, однако растёт число коммерческих туров, которые предлагают так называемые высококлассные приключения, например, «рафтинг по чёрной воде» и другие виды туров – в области Ваитомо (Waitomo) в Новой Зеландии. Один из самых продолжительных и самых дорогих пещерных туров с гидом – четырехдневный маршрут, предлагаемый Oxalis Adventure Company в пещере Шондонг (Hang Son Doong), Вьетнам. В ней находятся одни из самых больших в мире пещерных галерей по объёмам, и она входит в состав объекта Всемирного наследия Национальный парк Фонгня-Кебанг (Phong Nha-Ke Bang). Эти коммерческие мероприятия имеют больше общего с посещением экскурсионных пещер, чем другие формы приключенческого посещения пещер, потому что они требуют существенных инвестиций в инфраструктуру, большого потока посетителей и, как правило, в инфраструктуру пещеры вносятся значительные изменения для повышения безопасности или увеличения зрелищности. Примеры включают установку фиксированных маршрутов восхождений и троллеев в пределах пещеры.



Приключенческое посещение пещер теперь включает посещения пещер со льдом, а это уже совсем другие испытания. Пещера Айскогельхолле (Eiskogelhöhle), Австрия. Фото: Csaba Egri.

Ранжирование пещер как инструмент управления

Для управления пещерами необходимо: 1) составить список пещер и их содержимого и 2) ранжировать пещеры, чтобы понимать, для каких видов использования они подходят. Пещеру с ограниченным диапазоном объектов или с небольшой длиной и глубиной логично воспринимать как единицу управления для многих целей. Однако для более протяженных пещер, и особенно тех, которые резко меняют свои особенности и обладают повышенной чувствительностью к воздействию посетителей, вероятно, потребуется разделение на зоны использования. Активная водная галерея с регулярными наводнениями, вероятно, будет более устойчивой к воздействиям посетителей, чем сухая галерея верхнего уровня. Рассматривая уровень всей пещеры, нужно выяснить её место в окружающей области, соотношение с остальной частью карстовой области, в которой она расположена, и её роль в национальном и глобальном контексте. Для пещер и охраняемых областей, где в настоящее время нет никакой системы управления, рекомендуется следующий подход:

1. Проведите инвентаризацию пещеры (пещер) и отметьте на карте наиболее интересные объекты.
2. Оцените уязвимость каждого типа объекта, то есть насколько морфология галерей пещеры является устойчивой, насколько натёки и обломочные отложения могут быть легко повреждены.
3. Выявите потенциальное использование пещеры, такое как рекреационное посещение, управляемое приключенческое посещение с гидом, прохождение и исследования.

4. Основываясь на пунктах 1-3, выделите зоны в пределах пещеры, которые являются подходящими для каждого типа использования. Простая схема, которую легко адаптировать под местные условия, состоит в том, чтобы отсортировать галереи или области пещеры как имеющие:
- *А – Низкую чувствительность.* Области пещеры, которые считаются устойчивыми и способными противостоять всем видам разрушений, кроме преднамеренного. Они являются подходящими для всех видов использования.
 - *В – Умеренную чувствительность.* Участки, где есть интересные объекты, которые могут быть легко повреждены, если не принять элементарные меры предосторожности. Эти участки являются подходящими для рекреационного посещения, когда посетители соблюдают пещерный кодекс минимального воздействия. Эти участки не подходят для приключенческого посещения с гидом, но все же могут использоваться для маленьких групп с компетентным лидером. Посещения с целью обнаружения новых галерей и научные исследования могут быть разрешены, если основываются на обоснованном проекте и оценке воздействий.
 - *С – Высокую чувствительность.* Области с высокой ценностью и легко повреждаемыми объектами. Использование этих областей должно быть минимизировано, а также должны быть разработаны средства контроля для минимизации воздействия. Рекреационные посещения могут быть разрешены только с обоснованием для получения доступа (например, фотосъёмка) и с участием гида, хорошо знающего эту пещеру и её объекты. Посещение с целью обнаружения новых галерей и для научных исследований может быть разрешено только после анализа затрат и выгоды, который оценивает риск повреждения и вероятность благоприятного результата и ценности потенциальных открытий.
 - *Х – Чрезвычайную чувствительность.* Участки пещеры, которые имеют очень высокую ценность, где есть высокий риск повреждения. Эти участки должны быть закрыты для посещения, кроме исключительных обстоятельств, то есть для исследований, нацеленных на понимание специфических объектов в чувствительной области.

Спасение в пещерах

Как и в других видах активного туризма, в посещениях пещер возможны происшествия, которые требуют спасения человека или группы людей. В пещерах существует четыре главных объективных опасности: гипотермия, обвалы, наводнения и опасные газы. Все другие опасности субъективны и связаны с посетителями. Примеры включают: медицинские чрезвычайные ситуации, такие как сердечный приступ, который мог бы произойти и в другом месте, но который случился у человека под землей; человек или группа заблудились и не могут найти выход; человек или группа оказались в ловушке из-за наводнения; несчастные случаи, выводящие человека из строя. В большинстве стран, где есть долгая история посещения пещер, работают национальные или местные спасательные службы, которые либо непосредственно занимаются спасением под землей, либо помогают государственным аварийным службам обеспечивать спасение. Вообще, спасательные работы в пещерах трудны, особенно если требуется транспортировка пострадавшего, и потенциально способны нанести вред пещере. Приоритет в любом спасении – безопасность и здоровье спасателей и спасаемых, но при этом, если возможно, спасение должно минимально воздействовать на окружающую среду пещеры. Если спасательная команда в значительной степени или полностью составлена из опытных спелеологов, они будут пытаться минимизировать свои воздействия. Имеется, по крайней мере, один «Кодекс минимального воздействия при спасении в пещерах», который был принят в 2006 г. австралийской Комиссией спасения в пещерах и обновлялся в 2019 г. (см. [Интернет-ресурсы](#)).

Биологические последствия от посещения пещер

Пещеры обеспечивают среду обитания для множества животных. Летучие мыши – самые известные и наиболее широко распространенные во всем мире пещерные жители. Другие подземные позвоночные животные – пещерные рыбы и саламандры. Но больше всего распространены приспособленные к пещерам беспозвоночные. Многие из этих животных имеют очень ограниченные ареалы обитания. Спелеологическая деятельность в пещерах может неблагоприятно сказаться на живущих там животных: непосредственно, как в случае мелких беспозвоночных, повреждённых или перемещённых людьми,двигающимися через пещеру; или косвенно, как в случае попадания болезнетворных микроорганизмов, питательных веществ или изменений в среде обитания. Последствия этих воздействий для биологического разнообразия вряд ли можно полностью оценить без адекватных исследований. Потенциальные стратегии охраны включают планы сохранения определенных видов; информационные акции для привлечения внимания к минимизации воздействия на пещеры для защиты фауны; восстановление среды обитания; и ограничения на доступ к наиболее уязвимым средам обитания через зонирование. В некоторых пещерах изменение внутреннего энергетического баланса практически отсутствует и заметно только в геологическом масштабе. Вход даже одного спелеолога в такие пещеры может существенно изменить энергетический баланс, воздействуя теплом, светом и питательными веществами. Только в 1990-х гг. стало очевидно, что исследователи пещер приносят в пещерную среду микрофлору и микрофауну. В целом, результаты посещения пещер имеют кумулятивный и синергетический эффект.

В отличие от нарушений на поверхности земли, следы или эффекты человеческих воздействий в подземной окружающей среде со средней или низкой энергией могут сохраняться в течение сотен или даже тысяч лет. Например, предполагаемые следы кроманьонцев возрастом до 48 тыс. лет были обнаружены на поверхности осадочных отложений в пещере Шове (Chauvet), Франция. Особое беспокойство вызывает синдром белого носа (WNS), заразная инфекционная грибковая болезнь, которая убила миллионы живущих в пещерах летучих мышей в Северной Америке и в других регионах, с тех пор как впервые была зафиксирована в 2006 г. Она вызвана грибом *Pseudogymnoascus destructans*, который был найден на летучих мышах в Европе и в Китае, однако не вызывал снижение численности животных. Предпочитая высокую влажность, грибок растет на зимующих в пещерах летучих мышах и неблагоприятно воздействует на них, пока они находятся в спячке. Видимые признаки включают нечёткие белые пятна на носу летучей мыши, на теле и крыльях. Часто он приводит к смерти. Грибок был сначала найден в североамериканской экскурсионной пещере: по всей видимости, его занесли туристы из другой страны на своей обуви. Люди могут распространять грибки из одной пещеры с зимовкой летучих мышей в другую, случайно принося грибки на обуви, одежде или пещерном снаряжении. Туристы, посещающие экскурсионные пещеры, могут также распространить эту болезнь. В некоторых пещерах сегодня установлено оборудование для дезинфекции обуви: среди экскурсионных пещер этим может похвастаться Мамонтова пещера в Кентукки, но гораздо шире это распространено в рекреационных пещерах в США и некоторых других странах. Процедуры дезинфекции пещерной одежды и снаряжения были предложены Командой обеззараживания WNS (см. [Интернет-ресурсы](#)). Несмотря на то, что эта процедура стала решением определенной проблемы, её рекомендуют для всех спелеологов, особенно тех, кто посещает охраняемые области. Однако первичная передача WNS происходит между двумя летучими мышами. Многие их виды – социальные млекопитающие и мигрируют от летних зон кормления в пещеры для размножения, а затем к местам зимней спячки. Грибки найдены как на самих летучих мышах, так и на отложениях в пещерной среде.

Кроме потенциального воздействия на микробиологическую пещерную среду, посещение пещер людьми несет риск и для здоровья человека. Самая широко распространенная и известная в данном случае инфекция – это гистоплазмоз, вызываемый вдыханием спор грибка, часто встречающегося в помёте птиц и летучих мышей. Последние могут также быть переносчиками других болезней, поэтому трогать их разрешается только опытным исследователям, проводящим официальные работы. Риски для здоровья должны быть частью любой оценки риска в пещерах.

Процедуры для дезинфекции одежды и оборудования посетителей пещер

Для снаряжения, используемого в воде:

- Полностью очистить снаряжение, удалив всю грязь.
- Погрузить в горячую воду с температурой выше 55°C и держать минимум 20 минут.

Для снаряжения, не используемого в воде:

- Дезинфицировать, используя 6%-ую перекись водорода или дезинфицирующее средство на основе изопропилового спирта.
- С ботинок должна быть удалена вся грязь, после чего они проходят такую же дезинфекцию, как описано выше.

Любое снаряжение, которое было использовано в потенциально заражённой пещере, и не может пройти надлежащую процедуру дезинфекции, не должно использоваться в пещерах других регионов или спелеологами других стран. На некоторых охраняемых территориях не разрешается использовать снаряжение, которое побывало в потенциально заражённых пещерах, даже если оно прошло процедуру дезинфекции.

Случайные посетители пещер

В течение XXI столетия наблюдался устойчивый рост популярности «приключенческого туризма» – это привело к тому, что некоторые пещеры используются как часть так называемых спортивно-беговых событий, а также зафиксированы случаи использования механизированных транспортных средств в пещерах. Забеги, проходящие в экскурсионных пещерах и использующие существующую инфраструктуру, вряд ли окажут существенное дополнительное влияние на окружающую среду пещер. То же самое относится к забегам в галереях, которые проходят через реликтовые пещеры, где сформированы естественные арки. Однако использование необорудованных пещер для беговых или иных спортивно-состязательных событий должно быть запрещено, поскольку в этом случае невозможно избежать нарушения экосистем и геонаследия. Это же относится и к использованию подземных транспортных средств на электротяге: если они давно и с успехом работают в некоторых экскурсионных пещерах, то их совершенно неуместно использовать в необорудованных пещерах из-за повреждений, которые такие транспортные средства неизбежно нанесут пещерной среде.

Рекомендации

- (12) Желательно вести учет и классификацию пещер как основание для контроля и управления. Особенно интересные пещерные объекты должны быть указаны на карте.
- (13) Желательно провести оценку риска для групп пещер, отдельных пещер или отдельных участков в пещерах. Оценивать нужно риск, которому исследователи подвергают пещеры, и риск, которому подвергаются сами исследователи пещер. Необходимо оценить уязвимость каждого типа объекта, чтобы облегчить идентификацию пещер или зон в пределах пещер, которые являются подходящими для определённого вида использования.
- (14) Контроль воздействия на пещеры эффективнее всего осуществлять в виде стратегического планирования с привлечением всех заинтересованных лиц. Соответствующий подход, вероятно, потребует ряда инициатив, в числе которых ключевую роль будет играть политика доступа в пещеры.
- (15) Любой инструктор, предлагающий приключенческое посещение пещер, должен пройти соответствующее обучение и быть способен обеспечить безопасность посетителей и в охрану пещер.
- (16) Все посетители пещер должны быть ознакомлены со Спелеологическим кодексом минимального воздействия (MICC) и следовать ему. Если национальные или региональные требования отсутствуют, необходимо разработать специальный кодекс на основе уже опубликованных подобных документов.
- (17) Раскопки (инженерные работы), прохождение и научные исследования пещер в пределах охраняемых областей должны контролироваться через определенные соглашения или на основании выданных пропусков.
- (18) Менеджерам охраняемой области рекомендуется составить план действий на случай, если в пещерах произойдет несчастный случай. План должен быть составлен с участием региональной или национальной спелеологической организации и государственных органов, ответственных за помощь при несчастных случаях и чрезвычайных ситуациях, и должен включать рекомендации по минимизации воздействий на пещеру и окружающую наземную область во время спасательных операций.
- (19) Никакие виды моторизированных транспортных средств не должны быть допущены в необорудованные (дикие) пещеры, равно как эти пещеры не должны использоваться для беговых или иных спортивных мероприятий.

Экскурсионные пещеры

Введение

В этих рекомендациях мы попеременно используем термины «экскурсионная пещера» и «туристическая пещера» для описания объекта, куда может попасть любой, заплатив за вход. Некоторые из этих пещер принадлежат и/или управляются общегосударственными, региональными или местными органами власти. Некоторые экскурсионные пещеры, находящиеся в собственности правительства, могут управляться концессионерами, в то время как многие другие экскурсионные пещеры являются частными. В наиболее охраняемых областях может быть всего несколько экскурсионных пещер, но при этом много участков, используемых или для приключенческого, или для рекреационного посещения пещер (см. [«Рекреационное и приключенческое посещение пещер»](#)). Пещеры, используемые в религиозных целях, такие как храмы или церкви, рассматриваются как особый тип экскурсионных пещер. Сочетание пещерной среды и религиозных практик (включая шаманство) распространено во многих религиях, и некоторые пещеры были преобразованы в храмы. Особенно часто они встречаются в католических и буддистских странах, их посещает значительное количество, как туристов, так и верующих (см. [«Значение карста и пещер»](#)). Степень модификации таких пещер широко варьирует: от простых убежищ или гротов с религиозными изображениями до больших церквей. Некоторые пещеры используются как церкви с сидячими местами, алтарями и святынями; в них проходят регулярные богослужения и служат назначенные священники. Пещеры, используемые для религиозных практик, обычно управляются религиозными властями, при этом редко когда их действия в отношении пещерной окружающей среды подвергаются пристальному анализу. Поэтому в данной главе мы будем обсуждать только нерелигиозное использование пещер, хотя эти принципы одинаково применимы к пещерам, используемым в религиозных целях.

Международная ассоциация экскурсионных пещер (ISCA) подготовила «Международные рекомендации по развитию и управлению экскурсионными пещерами» в сотрудничестве с IUCN и UIS (см. [Интернет-ресурсы](#)). Цель этих рекомендаций – дать обзор наиболее эффективных практик развития и управления экскурсионными пещерами, применимых для таких пещер по всему миру. Цель Международных рекомендаций – не создание твердых правил, имеющих силу закона. Рекомендации – это руководящие принципы для профессионального подхода в развитии и управлении пещерами. Множество экскурсионных пещер действует уже в течение десятилетий, а иногда и столетий. В своих рекомендациях ISCA признает, что для существующих экскурсионных пещер может быть трудно, а иногда и вовсе невозможно следовать всем Международным рекомендациям. В таких случаях рекомендации ISCA дают примеры лучших методов и стандартов, которые могут работать в течение длительного времени.

Международные рекомендации должны рассматриваться как авторитетный источник для развития экскурсионных пещер и использования лучших методов управления. Следует регулярно следить за обновлениями рекомендаций с учётом новой информации. Это особенно важно в охраняемых областях, где экскурсионными пещерами необходимо управлять в максимальной степени соответствия стандартам, показывая пример тем экскурсионным пещерам, которые работают вне охраняемых областей. Если, например, необходимо заменить инфраструктуру, это должно быть сделано по результатам оценки и выбора лучшего варианта, обеспечивающего максимальную охрану окружающей среды пещеры, а не простой заменой на подобное.



Большой зал (Big Room) на туристическом маршруте через Карлсбадскую Пещеру, Нью-Мексико, США. Это единственная экскурсионная пещера в объекте Всемирного наследия «Национальный парк Карлсбадские Пещеры». В пределах нацпарка есть много других пещер: некоторые открыты для приключенческого посещения, к другим пещерам могут получить доступ только учёные или другие работники, имеющие специальный пропуск. Фото: Csaba Egri.

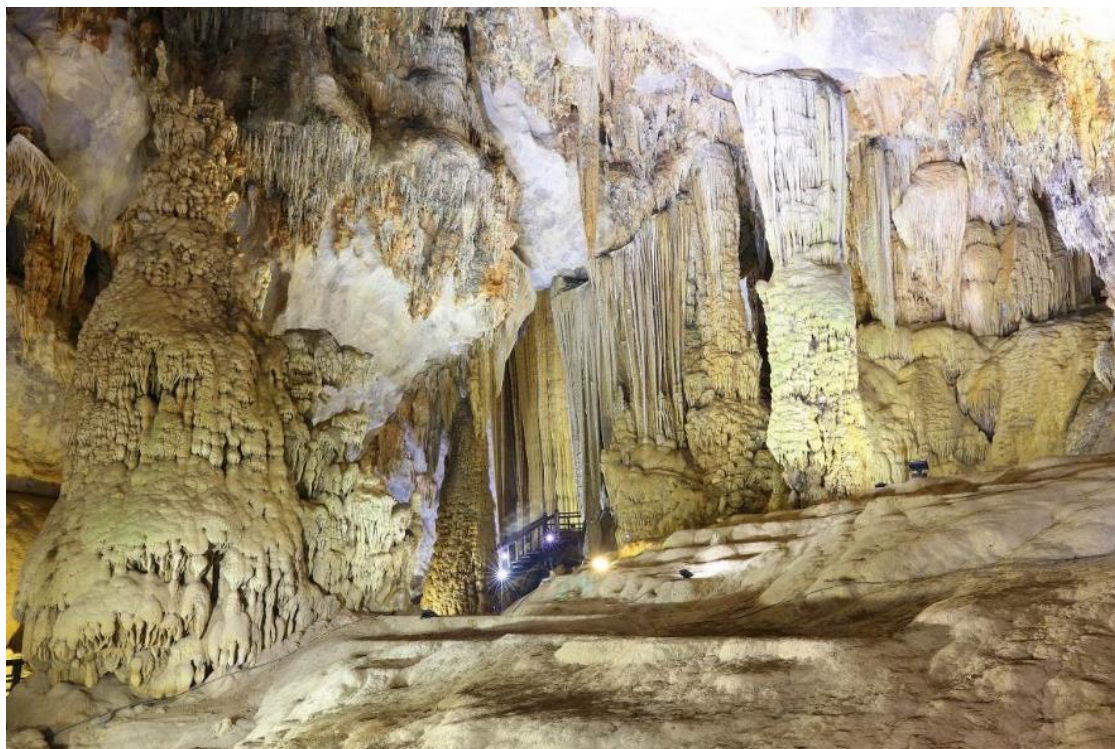
Очевидно, что общие правила невозможно применить абсолютно ко всем ситуациям. В разных пещерах по всему миру могут быть нестандартные параметры, и по вполне объективным причинам в таких случаях некоторые из рекомендаций не будут работать. Настоящие рекомендации, а также предлагаемые ISCA Международные рекомендации разработаны как цели, для достижения которых экскурсионные пещеры могут работать в соответствии со своими обстоятельствами и финансовыми возможностями. Кроме того, существует немало национальных ассоциаций управления экскурсионными пещерами, таких как ABIS (Ассоциация британских и ирландских экскурсионных пещер), ACKMA (Австралийская ассоциация управления пещерами и карстом), ANECAT (Французская национальная ассоциация операторов пещер, оборудованных для туризма) и NCA (Национальная ассоциация пещер США), которые делятся лучшими практиками развития и управления экскурсионными пещерами с участниками и коллегами. Данные Рекомендации являются дополнением к Международным рекомендациям ISCA.

Критерии для превращения пещеры в экскурсионную

В экскурсионных пещерах входная плата и средства от продажи сувениров, использования кафе и других туристических услуг – обычно важный источник дохода и рабочие места для местных жителей. Экскурсионные пещеры также хорошо защищают объекты, если им что-то угрожает, например вандализм. Всё это – хороший стимул открывать новые экскурсионные пещеры, особенно в развивающихся странах. Однако прежде чем открывать такую пещеру, необходимо провести полномасштабное исследование жизнеспособности предложенного проекта (в том числе экономической), а также оценить потенциальное воздействие на окружающую среду, включая влияние на научную ценность пещеры в биологическом и геологическом смысле. Преобразование пещеры в экскурсионную должно продолжаться только в том случае, если: 1) есть все условия для надлежащего контроля процесса изменений и имеется достаточное финансирование для материальных преобразований, соответствующих экологическим и общественным требованиям безопасности; 2) вероятный доход от деятельности пещеры позволит управлять ею в соответствии с принципами

устойчивого развития. В частности, важно предотвратить случаи, когда процесс преобразований был начат, но не закончен, вследствие чего пещера осталась в еще более уязвимом состоянии; или когда вновь открытая экскурсионная пещера не привлекает достаточное количество туристов, чтобы обеспечить доход, требуемый для длительной устойчивой и ответственной эксплуатации. При этом вполне приемлемо открытие пещеры для посещения общественностью даже если отсутствует жизнеспособный бизнес-план, но экономическое благополучие гарантируется субсидиями государства или местной ассоциацией добровольцев. Хорошее управление экскурсионной пещерой обеспечивает её охрану, приносит доход местной экономике и действует как центр образования и просвещения.

С помощью экскурсионных пещер большая часть людей впервые знакомится с подземной окружающей средой. Это прекрасный шанс показать широкой общественности культурную, историческую и научную важность, а также хрупкость пещерной окружающей среды. Это особенно важно в тех охраняемых областях, где пещеры требуют особого отношения и охраны.



Пещера Парадайз (Paradise) – экскурсионная пещера в национальном парке Фонг Нха-Ке Банг (Phong Nha-Ke Bang), объекте Всемирного наследия ЮНЕСКО, Вьетнам. Фото: Steven Bourne.

Безопасность

Безопасность посетителей и служащих должна быть важнейшей целью любой экскурсионной пещеры. Безопасность должна распространяться, как на подземную часть пещеры, так и на наземную территорию – одним словом, на все объекты собственности. Ко входу и выходу из пещеры должны быть проложены удобные подъездные пути и оборудованы стоянки. Важнейшую роль играет чёткая организация. Понятно, что обычные строительные нормы и правила не всегда применимы под землей. В планировании маршрутов в пещере безопасность посетителей должна быть приоритетом. Особенно важно обеспечить достаточно свободного пространства – в местах с низкими сводами должны висеть предупредительные таблички, чтобы предотвратить потенциальные травмы. Там, где это необходимо, должны быть предусмотрены перила.

В планировании безопасности важно обеспечить аварийным службам максимально удобный доступ в пещеру. Необходимо установить связь с местными службами спасения и предоставить им информацию обо всех ограничениях и трудностях, с которыми придётся столкнуться при оказании помощи в пещере, что часто требует серьезных усилий и может оказать влияние на окружающую среду пещеры, особенно если отсутствуют подробные планы галерей. Персонал экскурсионной пещеры должен пройти соответствующее обучение спасательным работам и оказанию первой помощи.

Пропускная способность пещер

«Пропускная способность» экскурсионной пещеры – показатель, который используется для планирования и управления. Он означает максимальное число посетителей, которых пещера может принять во время одной экскурсии или в течение заданного периода времени. Определение пропускной способности экскурсионной пещеры основывается на балансе

между обеспечением безопасного, информативного и приятного посещения во время экскурсии и уменьшением воздействия на окружающую среду пещеры, при этом учитывается и экономическая составляющая. Все эти факторы рассматриваются при оценке того, насколько пропускная способность экскурсионной пещеры является экологически рациональной.

Следующая информация будет относиться к такому фактору, как уменьшение воздействия на окружающую среду. Посещение туристами экскурсионных пещер будет иметь определённое влияние, но негативное воздействие можно свести к минимуму, а удовлетворённость посетителей повысить с помощью определенных процедур и методов управления. Первое – это физические параметры. Поток посетителей должен быть эффективно разделен на три части – входящий, проходящий и выходящий из пещеры, что минимизирует воздействие. Факторы, которые следует учитывать, включают размер галерей, расстояния от натёков, инфраструктура (например, перила), место входа и выхода посетителей (в частности, разные это точки или одна и та же). Если посетители проходят по пещере друг за другом, всё это важно учитывать, чтобы гарантировать достаточно пространства.

Второе – это такие экологические параметры, как движение и качество воздуха, температура, влажность и фауна пещеры. Большое количество посетителей в некоторых пещерах может значительно повысить температуру воздуха и концентрацию углекислого газа. Один человек выделяет тепловую энергию около 80-120 Вт, что примерно соответствует количеству энергии, выделяемой одной работающей электрической лампочкой. Таким образом, группа из 50 или 60 человек во время экскурсии в пещере может временно поднять температуру на 1-2 градуса. Управление экскурсионной пещерой должно гарантировать, что эти колебания температуры воздуха лежат в пределах диапазона естественных изменений теплового поля в пещере, и что температура возвращается к нормальным значениям в течение короткого промежутка времени после прохождения посетителей. Рост концентрации CO₂ из-за дыхания посетителей может колебаться от 1500 до 5000 ppm, что может вызвать у посетителей беспокойство. Поэтому уровни углекислого газа в некоторых пещерах могут потребовать эффективного контроля в соответствии с существующими санитарными нормами. Вентиляционные шахты или открывающиеся двери для вентиляции воздуха могут улучшить его качество в некоторых пещерах, однако такие изменения не должны серьезно влиять на естественную окружающую среду пещеры.



Посетители на маршруте в пещере Барадла Домица (Baradla Domica), которая впервые открылась как экскурсионная в 1806 г. Пещерная система пересекает границу между Венгрией и Словакией и находится в объектах Всемирного наследия пещерах Аггтелек (Венгрия) и Словацкий Карст. Пещера находится также в двух отдельных биосферных заповедниках ЮНЕСКО – Аггтелек и Словацкий Карст – и в двух отдельных рамсарских угодьях (система пещеры Барадла и водно-болотные угодья, Венгрия, и пещера Домица, Словакия). Фото: Csaba Egri.

Пещерная фауна – летучие мыши или виды, приспособленные к жизни в пещерах, – должны рассматриваться с точки зрения минимизации воздействия на них. В местах спячки летучих мышей в экскурсионных пещерах необходимо специально заботиться о том, чтобы посетители не потревожили животных, особенно когда те зимуют или размножаются.

Поскольку физические и экологические параметры каждой пещеры уникальны, показатель пропускной способности не может быть везде одинаковым, он должен быть индивидуально определен для каждой конкретной экскурсионной пещеры и опыта проведения экскурсий в ней. Многие экскурсионные пещеры используют экономическую составляющую как инструмент для повышения привлекательности пещер и уменьшения воздействия на окружающую среду. Например, увеличивают входную плату в высокий сезон или в периоды высокой нагрузки (так называемое «переменное ценообразование»), чтобы не допустить переполнения пещеры посетителями – это положительно влияет на впечатления от посещения и снижает нагрузку на природу. Другим примером для экскурсионных пещер при принятии решения о пропускной способности могут быть праздничные дни, когда в угоду экономической выгоде сознательно допускается превышение пропускной способности пещеры, что на несколько дней вызывает небольшое повышение температуры в пещере по сравнению с обычной.

Положить на одну чашу весов все эти виды воздействий на окружающую среду, а на другую – впечатления посетителей и экономические факторы, и таким образом определить максимальную пропускную способность для экскурсионной пещеры – вот задача грамотного управляющего.

Доступ в экскурсионные пещеры

Первое и самое очевидное действие в рамках преобразования пещеры в туристическую – модификация существующего входа (это часто относится и к необорудованной пещере) или строительство нового. Во многих экскурсионных пещерах это необходимо для обеспечения доступа для посетителей, и этот доступ совсем не такой, какой обычно бывает у естественных пещер. Такой искусственный доступ может открываться через туннель или новый вход, проложенный в пещеру. Создание нового искусственного входа может изменить циркуляцию воздуха в пещере и вызвать нарушения в её экосистеме. Чтобы избежать любого изменения циркуляции воздуха в пещере, искусственный вход в пещеру должен быть оборудован воздушным шлюзом. Решение не устанавливать воздушный шлюз должно быть принято только после того, как выполнено специальное исследование. Предпочтительным считается метод монтажа эффективной системы воздушного шлюза с помощью двойного набора дверей.

Если естественный вход в экскурсионную пещеру подходит для посетителей, требуется установить соответствующую форму управления доступом. Раньше любые проходы, по которым посетители могли бы проникнуть в пещеру в обход кассы, закрывались с помощью дверей и ворот. Это оказало неблагоприятное воздействие из-за ограничения или даже полного прекращения поступления питательных веществ и препятствовало движению фауны пещеры, особенно летучих мышей. Если двери установлены во входах и галереях, используемых летучими мышами, желательно чтобы в их верхней части оставались открытые пространства 15 см высотой и 45-75 см шириной. Это позволит летучим мышам свободно передвигаться. Все новые двери в пещеры должны разрабатываться с учётом свободного доступа для летучих мышей, а старые должны быть заменены. Некоторые виды летучих мышей вообще избегают любых дверей – в этом случае должно быть найдено альтернативное решение (см. [Интернет-ресурсы: двери в пещеры](#)).

Работы на поверхности

Чтобы связать наземную топографию участка с подземной полостью, необходимо иметь детальный план поверхности и пещеры. Это столь же важно как для уже действующей экскурсионной пещеры, так и для планируемой. Когда удастся связать между собой наземные и подземные объекты, можно оценить поступление воды в пещеру. Во многих случаях единственным фактором может быть просачивание поверхностной воды вниз через толщу горных пород над пещерой, которое не следует нарушать. Кроме того, необходимо тщательно оценить риск поступления поверхностных вод в пещеру в форме паводков.

Важно, чтобы крупные поверхностные объекты, такие как здания или парковки, не располагались выше непосредственного водосборного бассейна пещеры (имеются в виду потоки, поступающие через вход, а также другие притоки), где происходит естественное просачивание дождевой воды с поверхности. Если есть препятствия возможному просачиванию воды, должны быть найдены другие решения: например, замена водонепроницаемого покрытия парковки на то, которое позволяет дождевой воде просачиваться через него. Если здания расположены выше пещеры, идеально было бы их переместить, но если финансы не позволяют перемещение сразу, это можно сделать позже, когда здание уже выработает свой ресурс. Стоку воды с крыш и других твердых поверхностей нельзя позволять концентрироваться, желательно его рассеивать. Также важно гарантировать, что от любых сточных вод, произведённых на поверхностном участке, избавляются должным образом, не позволяя им загрязнять подземную окружающую среду. Обычное дело, когда здания, обслуживающие экскурсионную пещеру, помещаются как можно ближе ко входу, а в некоторых случаях вход или выход из экскурсионной пещеры находятся в пределах здания, используемого обычно как музей, информационный центр или магазин сувениров. Однако во многих пещерах могут быть высокие концентрации радона – радиоактивного газа, и если он просочится из пещеры в места, где работают сотрудники, они могут получить повышенную дозу радиации. Следовательно, необходимо гарантировать, что между входом и/или выходом из пещеры и любым зданием, в котором работают сотрудники, есть проветриваемое пространство.

Внутренняя инфраструктура экскурсионной пещеры

Преобразование пещер для туризма обычно требует механических изменений природных галерей, а также установку освещения, прокладку дорожек, строительство площадок и связанной инфраструктуры. Всякое новое изменение в уже действующей или готовящейся к преобразованию пещере должно быть тщательно оценено, разработано и установлено. Понятно, что необходимо обеспечить удовлетворённость и безопасность посетителей, но нельзя забывать и о том, чтобы минимизировать изменения или нарушения в естественной окружающей среде пещеры. Преобразования должны проводиться так, чтобы минимизировать изменения в морфологии галерей и повреждения отложений и натёков. Проблемы, связанные с пещерными галереями и освещением пещеры, рассматриваются ниже более подробно. В некоторых больших экскурсионных пещерах используется механизированный транспорт, чтобы облегчить доступ и обеспечить удобство для туристов: это могут быть лифты, автобусы и поезда. Эти типы транспорта, особенно необходимые посетителям с ограниченной мобильностью, могут вызвать главные изменения в окружающей среде пещеры, и поэтому планированию их внедрения стоит уделить особое внимание.

Дорожки экскурсионной пещеры

Дорожки – важная составная часть экскурсионной пещеры, необходимая для того, чтобы туристы могли удобно передвигаться длительное время, не подвергаясь опасности и не сходя с маршрута. Туристические маршруты через пещеру должны быть разработаны так, чтобы оказать минимальное влияние на биологическую среду обитания в пределах пещеры и на натёки. Положение пещерных дорожек должно быть отрегулировано таким образом, чтобы приводить посетителей достаточно близко к главным достопримечательностям и чтобы они могли видеть и сфотографировать их, но не настолько близко, чтобы они могли трогать или нарушать их. Слои пещерных отложений должны быть защищены поднятыми дорожками, если это возможно, чтобы сохранить ценность среды обитания, окаменелости и историю осадконакопления.

Дорожки в пещере не должны быть чрезмерно широкими. Например, желательно, хотя и не обязательно, чтобы по дорожке могли пройти рядом два человека. Возможны отдельные участки, где посетители будут передвигаться друг за другом, но желательно, чтобы периодически группа могла собраться на более широких участках, чтобы получить информацию от гида. Дорожки в экскурсионной пещере могут использоваться для размещения труб, трубопроводов и кабелей — под поверхностью дорожки или около нее. Предпочтительно, чтобы эти сооружения не были заключены в кожух из бетона. С дорожек должен быть доступ к выключателям системы освещения.

Дорожка должна состоять из трех фундаментальных компонентов, включая пешеходную поверхность, бордюр и перила. Желательно, чтобы материалы, используемые в строительстве, оказывали наименьшее возможное влияние и на эстетику пещеры, и на её окружающую среду.

Пешеходные дорожки

Материалы, используемые для пешеходных дорожек, должны быть нетоксичными для окружающей среды пещеры. Обычно (особенно в известняковых пещерах) использовался бетон, который по составу ближе всего к породе, в которой сформирована пещера. Бетон также широко применялся там, где дорожки не могут быть подняты. У бетона есть важные преимущества, например, он эстетически хорошо вписывается в интерьер пещеры и обладает долгим сроком службы. Однако есть у него и недостатки: во-первых, он тяжелый, во-вторых, работы с бетоном довольно грязные, и, в-третьих, его трудно удалять после затвердевания. Есть также некоторые свидетельства, что бетон может иметь неблагоприятное биологическое воздействие на сточные воды. Можно использовать бетон с низкой плотностью, если использовать перлит, пемзу или вулканический шлак в качестве наполнителей: это уменьшает вес материала, сохраняя адекватную прочность дорожки. Ограждения из нержавеющей стали вдоль дорожек также становятся всё более популярными. Но у нержавеющей стали есть серьезные недостатки: она дорогая и требует использования специальных методов сборки и установки. Пластмасса, армированная стекловолокном (FRP), соединенная крепёжом из нержавеющей стали, является другим популярным материалом для пещерных дорожек с более низкой стоимостью и весом.

Поднятые пешеходные дорожки из нержавеющей стали, FRP или других решётчатых материалов, служат долго, почти не требуют обслуживания, оказывают небольшое влияние на пол пещеры и относительно легко удаляются, чтобы в случае необходимости пещеру можно было бы вернуть в её почти естественное состояние. Однако использование решеток (сеток) всех типов приводит к тому, что волокнистый мусор, ил и грязь проваливаются на пол пещеры. И если конструкция решетки не предполагает ее простой демонтаж, может оказаться очень трудным очищать пол под ней.

Бордюры

Бордюры или защитные брусья необходимы по следующим причинам. Во-первых, чтобы ограничивать передвижение посетителей – это защищает объекты пещеры. Во-вторых, вдоль тропы за пределами бордюров удобно прокладывать

трубопроводы, трубы и кабели. Бордюры также защищают пещеры от различного мусора, который оставляют посетители.



Поднятая дорожка в экскурсионной пещере Гуфр д'Эспаррос (Gouffre d'Esparros), Франция. Стрелка указывает, что сетка используется для дополнительной защиты и предотвращения падения отложений на натёк внизу. Фото: John Gunn.

Перила

Перила (или поручни) обеспечивают удобство и безопасность, как посетителям, так и пещере, препятствуя сходу посетителей с дорожки. Нержавеющая сталь обычно используется для строительства перил в экскурсионных пещерах. Преимущества этого материала заключаются в отсутствии необходимости обслуживания, возможность собрать и сварить конструкцию прямо в пещере и использовать в качестве трубопровода для транспортировки пресной воды в пещеру. Недостатки этого материала – его стоимость и излишний блеск, не совсем уместный в пещере. Использование проволочного троса из нержавеющей стали вместо крупных промежуточных стоек или ограждений может значительно снизить нежелательное визуальное воздействие нержавеющей стали. Лучше также использовать не острые, а закругленные углы. Перила из пластмассы, укрепленной стекловолокном (FRP), с крепежом из нержавеющей стали сейчас становятся более популярными и обеспечивают эффективное и более доступное по стоимости решение.

В то время как дорожки и прочая инфраструктура предназначены для безопасного доступа посетителей и защиты пещеры от их воздействия, их неправильная установка может привести к очень неприятным последствиям для пещеры. До начала строительных работ необходимо провести оценку воздействия на окружающую среду и составить план смягчения последствий и управления окружающей средой (ЕММР). Этот план должен выполняться под чутким контролем, чтобы свести к минимуму ущерб ресурсам пещеры во время строительства.

Освещение пещеры

Энергетический баланс экскурсионной пещеры в идеале должен оставаться близким к природному. Электрическое освещение обеспечивает как свет, так и выделение тепла, таким образом, любые фонари должны иметь высокую производительность, и выделять максимально низкое количество тепла. Многие экскурсионные пещеры заменили старые системы освещения современным высокопроизводительным светодиодным (LED) освещением низкого напряжения: именно этот вариант необходимо использовать при оборудовании новой пещеры или модернизации освещения в действующих пещерах.

В экскурсионных пещерах, где посетители перемещаются в группах, желательно разделить маршрут на зоны, в которых освещение включается и выключается гидом. Это позволяет освещать только ту часть пещеры, в которой в данный момент находится группа. Это важно для снижения нагрева окружающей среды пещеры, предотвращения роста лампенфлоры, а также снижения затрат на электроэнергию. В экскурсионных пещерах, где посетители перемещаются неорганизованно, освещение может быть оснащено датчиками движения и таймерами. Электрическая система должна быть установлена безопасным способом.

Важно, чтобы в случае отказа центрального электропитания в пещере было предусмотрено аварийное освещение. Оно всегда должно быть доступно: это может быть источник бесперебойного питания или система аварийного освещения с

автономным источником питания. Согласно местным нормам и правилам, в некоторых случаях могут использоваться аккумуляторные лампы или аналогичные устройства.

В любой схеме освещения важно определить, как разместить лёгкие крепления, провода и электроштыты так, чтобы минимизировать повреждения пещеры и не нарушить её эстетическую привлекательность. Лампенфлора – неизбежное последствие использования искусственного света в пещере. Много видов водорослей и других высших растений могут появиться в результате использования искусственного освещения. У такого света должен быть спектр эмиссии с самым низким вкладом в спектр поглощения хлорофилла, чтобы минимизировать рост лампенфлоры. Другой способ предотвратить её рост – уменьшить количество энергии, достигающей тех поверхностей, где могут жить растения. Безопасное расстояние между лампой и поверхностью в пещере зависит от интенсивности её света. По грубым подсчётам, расстояние около одного метра может быть безопасным. Свет должен быть максимально сфокусирован на объекте освещения. Необходимо избегать рассеивания света на окружающие участки или в глаза посетителей – в этом отношении очень полезны легкие защитные экраны вокруг лампы. Раньше освещение с высокой теплоотдачей, расположенное слишком близко к натёкам или наскальной живописи, вызывало существенное повреждение. Гораздо меньше проблем вызывает светодиодное (LED) освещение.

Система освещения, в которой нет избыточной потери света и тепла, не только минимизирует воздействие на окружающую среду в пещере, но также положительно влияет на впечатления посетителей, эффектно чередуя темные участки и сфокусированное освещение определённых объектов пещеры. Есть два важных принципа, которые нужно принимать во внимание, проектируя освещение для экскурсионной пещеры: доступ и атмосфера. Освещение для доступа должно быть на минимальном уровне, обеспечивающем безопасное движение всех посетителей пещеры. Эффективное освещение может использоваться для безопасного прохода через незнакомую окружающую среду, а также для создания безопасных зон, в которых посетители могут расслабиться. Для этого используются светодиодные ленты, 12-вольтовые светильники и другие энергоэффективные технологии. Они могут быть установлены на перила или по краям дорожки, а необходимые инверторы или батареи можно прятать внизу. Вообще, все крепления и провода должны быть надёжно скрыты от посетителей, при этом оставаясь доступными для обслуживания без дальнейшего повреждения пещеры и её содержимого. Кроме уменьшения выбросов CO₂, низкий расход энергии даёт и другие преимущества – например, облегчает использование местного непрерывного электропитания при отказе основной энергосети. При этом также производится меньше тепла. Существует много подобных доступных технологий, но они должны использоваться как инструменты для достижения результата, а не быть «вещью в себе».

Освещение в эстетических целях должно подчиняться единой концепции: например, быть сосредоточено на объектах пещеры, рассказывать об исследованиях, развитии или «подсвечивать» исторический аспект. Где возможно, освещение должно быть проводником для посетителей от одной сцены к другой, возможно, с кульминацией в освещении главного зала пещеры. Любой свет, окружённый темнотой, вызывает драматический эффект; при этом удалённый и неясный свет иногда может усиливать иллюзию глубины и тайны. Освещение водных объектов может быть очень эффектным и эстетически приятным. Проекты в некоторых экскурсионных пещерах используют цветное освещение, чтобы привлечь внимание на определённые объекты; другие используют нейтральный и прохладный свет, чтобы привлечь внимание на естественные цвета пещеры, при этом, не оказывая какого-либо существенного влияния на окружающую среду пещеры. В некоторых экскурсионных пещерах используют освещение, синхронизированное с музыкальными композициями, чтобы ещё больше впечатлить посетителей (что также не оказывает неблагоприятного влияния на окружающую среду пещеры).

Очистка пещеры

Во многих экскурсионных пещерах дорожки и иногда натёки регулярно очищают от накоплений пыли, волокнистого мусора, намытых отложений, грибов и водорослей (лампенфлоры). Были опробованы многие способы, например, водная струя под высоким давлением (общепринятая методика), хотя в некоторых случаях использовали мытьё щёткой/скребком, применяли поверхностно-активные вещества (сурфактанты) и очистку паром. Очевидно, что все эти методы оказывают то или иное влияние на поверхности натёков. При использовании водной струи под высоким давлением желательно ограничить частоту и количество промывок, а также использовать минимальное количество проходок сопла над кальцитовыми поверхностями.

Лампенфлора – настоящий бич экскурсионных пещер, их повсеместная проблема. Чтобы избавиться от лампенфлоры, например, водорослей, используют сильнодействующие чистящие средства, такие как хлорный отбеливатель. К сожалению, химические препараты, включая тот же хлорный отбеливатель, малоэффективны в долгосрочной перспективе, потому что в подходящих условиях лампенфлора растёт быстро. Единственный способ минимизировать рост водорослей – контролировать их развитие, уменьшая свет и тепло, а не использовать химическую обработку, которая только на короткое время прерывает рост организмов.

Если лампенфлора всё-таки распространяется, необходимо бороться с ней химическими средствами. При этом гербициды никогда не должны использоваться в пещерах, поскольку они слишком ядовиты для подземной окружающей

среды. Несмотря на то, что гербициды активно используются в сельском хозяйстве, их токсичность и медленное разрушение может серьезно затронуть фауну пещер. Использование сильных отбеливающих химикатов для сокращения или удаления лампенфлоры было рассмотрено в исследовании (Cigna, 2011). Два наиболее широко используемых химиката: гипохлорит натрия (5% хлорный отбеливатель) и 15% перекись водорода. Гипохлорит натрия – источник хлора, попадающего в окружающую среду пещеры. Он эффективно очищает поверхности, но ядовит для пещерной биоты, однако довольно быстро рассеивается. Перекись водорода тоже может иметь неожиданные биологические эффекты – особенно там, где есть богатые железом отложения. Новое исследование в США (Kieft и др., 2021) показывает, что отбеливатель и перекись водорода не должны использоваться из-за токсичности и влияния на натёки. Хлорид бензалкония – эффективный нетоксичный биоцид, который удаляет лампенфлору, когда используется в концентрациях 1-10%. Авторы также рекомендуют использовать бактерицидный лёгкий ультрафиолет (UV-C). Независимо от того, какое вещество используется, рекомендуется мытьё поверхностей после очистки; предпочтительно использовать воду пещеры, а не хлорированную воду из водопровода. Оптимально проводить ежегодную очистку, но некоторые участки могут требовать более частого мытья, используя только воду пещеры.

Новые материалы

Регулярно появляются новые материалы – многие из них потенциально могут использоваться в пещерах. Однако в то время как одни новые материалы отлично подходят для пещер, другие, например, композитная древесина, могут неблагоприятно воздействовать на пещеру. Следует в целом избегать композитных материалов, которые содержат древесные волокна, поскольку они способствуют росту бактерий, водорослей и грибов. Спецификации всех композитных материалов должны быть тщательно проверены на содержание древесных или бумажных продуктов. Если планируется использовать в пещере композитный материал, он обязательно должен быть сначала протестирован в условиях той самой пещеры. Как уже было упомянуто выше, нержавеющая сталь – превосходный материал для использования в пещерах. Однако она может отличаться по типу и качеству. Расходы на использование нержавеющей стали во многом приходятся на тщательный подбор правильного типа материала. Для пещер рекомендуется выбирать более качественную нержавеющую сталь. Разработаны новые сорта пластика, потенциально подходящие для использования в пещерах. Большое преимущество этих новых материалов в том, что они легки, по свойствам близки к стали, и их легко обрабатывать простыми инструментами. Пластмассовые части соединяются болтами из нержавеющей стали, что облегчает модернизацию оборудования в будущем. Дорожки могут быть построены из одноосно ориентированного волокнистого пластика, созданного методом протяжки покрытых смолой стеклянных волокон через горячий зазор. Они часто покрываются мелкими абразивными частицами для лучшего трения, но при большом потоке посетителей могут быстро изнашиваться. Перила могут также быть сделаны из пластмассы, укрепленной стекловолокном.

Материалы, которые обычно не подходят для экскурсионных пещер

Рассматривая материалы, которые не подходят экскурсионным пещерам, нужно признать, что многие из них в прошлом считались пригодными для использования. Поэтому трудно найти действующую экскурсионную пещеру, в которой вообще нет материалов, теперь считающихся нежелательными. В пещерах, которые находятся в процессе преобразования в экскурсионные, следует избегать использования всех нежелательными материалов, которые описаны ниже.

Оцинкованные металлы

В течение предыдущих десятилетий оцинкованные стальные трубы использовали в качестве перил, лестниц и платформ в экскурсионных пещерах. Однако цинк легко окисляется и вымывается в окружающую среду пещеры. При выщелачивании оцинкованных покрытий могут происходить неблагоприятные воздействия, особенно на чувствительную беспозвоночную фауну пещер и отложения кальцита. Там, где оцинкованная сталь всё ещё используется в экскурсионной пещере, должна быть создана программа для её замены другими материалами.

Разнородные металлы

Использование разнородных металлов, таких как различные сорта алюминия, будет всегда вызывать коррозию, когда они находятся в контакте друг с другом во влажной окружающей среде. Лучшее решение – это не использовать разнородные металлы в контакте друг с другом. Если это невозможно, следует изолировать материалы друг от друга, используя неопределённые или нейлоновые шайбы или другие приспособления, однако это не самый надёжный метод, так как рано или поздно вода сможет преодолеть барьер. Также рекомендуется не использовать растворимые аноды из-за химического состава, который может отрицательно воздействовать на пещеру.

Цветные металлы

Многие цветные металлы также в прошлом использовались в пещерах. По всей видимости, самые распространенные из них медь и её сплавы, которые стали источником зеленоватой окраски, появившейся в пещерах.

Железо и сталь

Необработанное железо и сталь подвергаются коррозии. Даже те формы мягкой стали, которые содержат небольшой процент углерода, восприимчивы к окислению. Следовательно, необработанная сталь и железо не должны использоваться в экскурсионных пещерах, поскольку это обязательно приведет к появлению ржавчины.

Битум (асфальт)

Битум (асфальт) является чёрной вязкой смесью углеводородов, полученных из нефти. Асфальт способен выделять продукты, которые ядовиты для биоты и могут мешать отложению кальцита. Если в действующей экскурсионной пещере есть асфальт, должны быть предложены планы для его скорейшего удаления. Асфальт никогда не должен использоваться в экскурсионных пещерах.

Дерево

В течение многих столетий дерево было предпочтительным материалом для строительства и ремесла, например для создания мебели. Его использовали сначала и в экскурсионных пещерах. К сожалению, у древесины относительно короткий жизненный цикл, даже если она пропитана креазотом или обработана консервантами под давлением. В целом, окружающая среда пещеры изолирована, и поступление энергии извне изменяет равновесие в пещере. Исключения могут быть только в случае, когда река или поток протекают через пещеру или по какой-то причине наблюдается высокое содержание органики.

Когда древесина разрушается в пещере, она может стать частью пищевой цепи. Распад древесины может поддерживать рост грибов или бактерий и даже повышает риск вторжения экзотических видов, которые могут заменить изначальные пещерные виды. Если какая-нибудь древесина используется для опалубки, настилов или других временных сооружений, её не следует оставлять в пещере. Древесина должна быть удалена по завершении работ, причем очень тщательно, чтобы не оставить мелких отходов или обломков. Если сгнившую древесину необходимо убрать из пещеры, важно гарантировать, что она не рассыплется при транспортировке. Даже маленькие следы гниющего дерева могут вызвать взрывы продуктивности пещерных видов, которые следует держать подальше от древесины, пока она не удалена.

При обнаружении древесины в действующей экскурсионной пещере необходимо составить план для её постепенной замены другими материалами, если на то есть средства и если дерево способно вызвать в этом месте существенное изменение в естественной окружающей среде. Период времени, охваченный таким планом, должен быть ограничен ожидаемой продолжительностью жизни дерева в этом месте. Во время перевода пещеры в экскурсионную вместо дерева следует выбрать другие материалы. Только в пещерах со льдом есть экологические условия, совместимые с присутствием дерева, которое часто используется для строительства дорожек и перил, поскольку оно не скользит и хорошо подходит для морозных условий.

Мониторинг

Основной мониторинг климата в пещере должен выполняться на регулярной основе и по расписанию. Могут проверяться: температура и влажность воздуха, содержание радона (если его концентрация близка или выше санитарных норм) и температура воды (если имеется). Контроль углекислого газа необходим, если его концентрация выходит за рамки диапазона естественных флуктуаций. Можно также измерять поток воздуха в пещеру и обратно. Важно, чтобы ученые, которые привлекаются к мониторингу, были заинтересованы в такой работе, и у них имелся достаточный опыт исследований окружающей среды пещер. Часто бывает, что компетентные в других областях ученые мало осведомлены об особенностях пещер. Если руководство пещеры получает некомпетентные советы по управлению, это может привести к угрозе для подземной окружающей среды. Наука о пещерах – высоко специализированная область знаний.

Менеджеры экскурсионной пещеры

Менеджеры экскурсионной пещеры должны быть компетентными и в бизнес-процессах управления экскурсионной пещерой, и в охране её окружающей среды. Менеджеры экскурсионной пещеры никогда не должны забывать, что пещера – это «курица, несущая золотые яйца», и она должна охраняться с особенной заботой.

Гиды экскурсионной пещеры

Важная роль гидов в экскурсионной пещере заключается в том, что они являются связующим звеном между пещерой и посетителями. Очень важна должная подготовка и обучение гидов. Управление экскурсионной пещерой должно составить «Руководство гида» для работы в конкретной пещере. Гиды должны не только владеть знаниями о происхождении и геологии пещер, биологическом разнообразии в них, палеонтологических особенностях, понимать их культурное и историческое значение, но также учитывать особенности взаимодействия внутри экскурсионной группы и уметь доходчиво рассказывать обо всём этом посетителям. У гидов экскурсионной пещеры есть замечательная

возможность вдохновить посетителей стать защитниками пещер и карстовых ландшафтов. Они также ответственны за безопасность посетителей и охрану пещеры.

Информационно-просветительская работа

Первая цель информационно-просветительской работы состоит в том, чтобы предоставить посетителям информацию о пещере и значении её природного и культурного наследия, сделать их впечатления от посещения более разнообразными и осмысленными. Вторая цель – донести до посетителей правила и требования, связанные с охраной ресурсов пещеры и безопасностью посетителей и обслуживающего персонала. Информация о правилах поведения в пещере должна быть подготовлена, продемонстрирована и устно доведена до посетителей до или во время экскурсии, чтобы помочь им понять важность этих требований и заручиться их добровольным согласием соблюдать их. Независимо от того, групповое это или индивидуальное посещение – гиды должны гарантировать выполнение правил и инструкций для охраны пещеры и безопасности посетителей.

Впечатления посетителей пещеры формируется многими факторами, действующими не только во время экскурсии, но также до и после визита. Информированность, ожидание, встреча и воспоминания часто даже важнее, чем непосредственно полученные во время посещения впечатления; в итоге именно воспоминания, по всей видимости, имеют наибольшее значение. Для оценки этих факторов необходимо разработать систему мониторинга опыта посетителей.

Некоторые основные принципы в планировании/моделировании впечатлений посетителей:

- Информация, представляемая общественности в Интернете или непосредственно на месте, должна быть точной и не вводить в заблуждение. Восприятие такой информации до посещения позволяет уменьшить риск нежелательного поведения и стимулировать ожидание.
- Обеспечьте наилучшее оформление входа в пещеру.
- В пещерах, где есть экскурсионные группы, каждая экскурсия должна быть разработана с учетом количества людей в группе и длительности мероприятия, должна проводиться хорошо информированным экскурсоводом, нацеленным на плодотворный и позитивный контакт с посетителями.
- Необходимо предпринять усилия для выявления культурных потребностей и интересов всех посетителей и предусмотреть их.

Желательно, чтобы у каждой экскурсионной пещеры была своя индивидуальная тематика, которая бы использовалась в рекламных материалах в Интернете, составляла основу экскурсий и просветительно-образовательных программ. Хотя выбор этих тем может вызвать затруднения у менеджеров и экскурсоводов, такая работа в будущем окупится тем, что посетители получат более цельные и осознанные впечатления от пещеры. Если раньше посещение пещеры обычно происходило в составе экскурсии, в течение XXI века все более популярными стали самостоятельные посещения, когда гости осматривают достопримечательности в комфортном им темпе. Такая тенденция иногда бывает связана со стремлением руководства пещеры сэкономить на экскурсоводах, однако это привело к появлению такой модели, в которой гиды рассредоточены в нескольких местах по всему протяжению пещеры, где они могут наблюдать за самостоятельными посетителями, гарантируя безопасность, предотвращая возможные повреждения и будучи готовыми помочь с разъяснениями, если потребуется. Эта модель особенно интересна в тех случаях, когда местные сообщества вовлечены в пещерный туризм, и руководству необходимо обеспечить занятость местного населения. Некоторые экскурсионные пещеры могут использовать каждую из этих моделей или их сочетания в зависимости от сезона и количества посетителей.

Какой бы тип посещения не использовался, важна доступная интерпретация, желательно включающая тематические вставки и раздел, посвященный охране пещеры. Объяснения должны предоставляться на местном языке, а также на любых языках, распространенных в регионе.



Один из четырех интерактивных стендов, предоставляющих мультимедийную информацию на немецком и английском языке, пещера Вендельштейн (Wendelstein), Германия. Фото: Peter Hofmann.

Самостоятельные экскурсии требуют различных подходов к просветительско-информационной работе:

Подходы к просветительско-информационной работе, используемые в экскурсионных пещерах с самостоятельным посещением

Тип объяснения	Используется в следующих пещерах:	
Только указатели	Во многих пещерах, в том числе в следующих странах:	
	Австралия	Пещера Фиг Три (Fig Tree), Новый Южный Уэльс
		Мамонтова пещера, Западная Австралия
	Австрия	Пещера Лахпрехтсёфен (Lamprechtsofen)
	Китай	Пещера Фуронг (Furong), Чунцин
		Пещера Тенглонг (Tenglong), Область Хубэя
	Малайзия	Пещера Дир (Deer), Саравак
		Пещера Ниах Большая (Niah Great), Саравак
	Словения	Шкоцианские (Škocjan) пещеры
Карманные автогиды с сообщениями на нескольких языках	США	Мамонтова пещера, Кентукки
	Лаос	Пещера Виенг Хай (Vieng Xai)
	Испания	Пещера де Неря (de Nerja)
Стационарные точки со звуковыми сообщениями	США	Карлсбадская (Carlsbad) пещера
	Мексика	Пещера Баланканче (Balankanche)
	Англия	Пещера Дан Ур Огоф (Dan yr Ogof)
Приложения для смартфонов посетителей	Англия	Пещера Трек Клиф (Treak Cliff)



Посетители могут оценить красоту и структуру льда в пещере Айсризенwelt (Eisriesenwelt), Австрия. Фото: Csaba Egri.

Рекомендации

- (20) Действующими экскурсионными пещерами необходимо управлять по принятым стандартам и в согласии с Рекомендациями ISCA, а также настоящими Рекомендациями.
- (21) Прежде чем переоборудовать естественную пещеру в экскурсионную, необходимо провести полномасштабную оценку её экологической и экономической устойчивости.
- (22) Безопасность должна быть приоритетом для каждой экскурсионной пещеры.
- (23) Пропускная способность конкретной экскурсионной пещеры определяется балансом между обеспечением безопасного, информативного и приятного впечатления от экскурсии и уменьшением воздействия на окружающую среду с учётом экономической целесообразности. Необходимо рассматривать все три эти фактора: впечатления посетителей, воздействие на окружающую среду и прибыльность.
- (24) Необходимо иметь план участка, на котором подробно показаны наземные и подземные особенности территории. С помощью такого плана легче анализировать потенциальное влияние поверхностных работ на пещеру.
- (25) Соответствующая инфраструктура на входе в экскурсионную пещеру необходима для защиты её естественной окружающей среды.
- (26) Все инфраструктурные преобразования в действующей или планируемой экскурсионной пещере должны проходить тщательную оценку и внедряться в соответствии с лучшими современными практиками.
- (27) Освещение в пещере желательно разделить на зоны с максимальным упором на те части, в которых находятся посетители. Использование света должно быть минимизировано, чтобы освещать только определенные объекты и поддерживать особую привлекательность, характерную для пещер.
- (28) Эффективное управление экскурсионной пещерой должно быть адаптивным, а значит, опираться на мониторинг. Фауна, микроклимат и концентрация углекислого газа – вот минимальный основной набор показателей, нуждающихся в контроле.
- (29) Менеджеры экскурсионной пещеры должны быть компетентными и в управлении бизнесом, и в охране её окружающей среды.

- (30) Экскурсоводы в любой экскурсионной пещере играют очень важную роль, будучи посредниками между пещерой и посетителями. Гиды должны пройти обучение, понимать ценности и характеристики конкретной пещеры, и уметь доносить их до посетителей.
- (31) Все экскурсионные пещеры должны вести качественную информационно-просветительскую работу, чтобы донести до общественности ценность их окружающей среды.

Приключенческая и туристическая активность на поверхностном карстовом ландшафте

В течение XXI столетия рос интерес к приключенческой и туристической активности на открытом поверхностном карстовом ландшафте, включая области известняковых мостовых, башенного карста, обрывов и каньонов. Эти суровые и иногда труднодоступные участки могут содержать в себе ценное геонаследие и неисследованное биоразнообразие, которые нуждаются в защите, особенно на охраняемых территориях. Поэтому важно рассмотреть эти области на предмет присутствия редких или местных видов растений (например, орхидеи) или животных (например, лангуров), либо наличия уязвимых карстовых объектов (например, башни) прежде, чем принимать решение о том, возможны ли какие-либо активности, какие есть условия и ограничения и где их можно проводить.

Любая инфраструктура для таких активностей должна быть подобрана и установлена с учетом минимального влияния на карстовый ландшафт – и визуально, и в смысле его целостности, – а также могла бы быть без труда демонтирована в будущем в случае необходимости, нисколько или почти нисколько не влияя на состояние карстового ландшафта.

*Карстовые трассы, основанные на **виа феррата**, появились в XIX столетии в альпийских карстовых областях Европы. **Виа феррата** стали намного более популярными с конца XX столетия, особенно в Европе, и быстро распространяются по всему миру. [Виа феррата — скальный участок, оборудованный металлическими конструкциями, помогающими преодолевать его проще, чем при простом скалолазании. Прим. переводчика.]* В некоторых местах на башенном карсте оборудованы карстовые трассы с различными комбинациями инфраструктуры. На объекте Всемирного наследия Цинги де Бемараха (Tsingy de Bemaraha) на Мадагаскаре есть трасса Big Tsingy, которая включает дорожки, площадки, лестницы, висячие мосты и местами скальные участки с гибкими страховочными тросами. Карстовые трассы на башенном карсте Фу Фа Марн (Phu Pha Marn) в центральном Лаосе включают троллеи или зиплайны (скоростной спуск по наклонному тросу), *виа феррата*, висячие мосты, сетчатые мосты и площадки, скальные участки с гибкими страховочными тросами повсюду на трассе. Эти трассы позволяют посетителям исследовать и наблюдать захватывающие ландшафты башенного карста, знакомиться с дикой природой (например, с лемурами и лангурами), которая в других местах практически недоступна. Посетителей маленькими группами проводят по трассам под руководством опытных гидов. На особо уязвимых и пересечённых ландшафтах посетители придерживаются строго определенного маршрута, чтобы оказывать минимальное воздействие на окружающую среду. Посетителям должно быть запрещено самостоятельно идти или подниматься по хрупким башенкам или другим карстовым поверхностям, которые могут быть повреждены.

Скалолазание известно давно, но в течение XXI столетия количество скалолазов особенно возросло. Популярен стал «боулдеринг» (скалолазание на камнях. Прим. переводчика), в котором не используются никакие фиксирующие вспомогательные средства или веревки. Каменистые ландшафты, одни из наименее нарушенных человеческой деятельностью, теперь испытывают гораздо большее воздействие, чем прежде. Исследования показали, что на маршрутах подъема беднее растительный покров и ниже биологическая изменчивость, чем на каменных ландшафтах, не используемых для подъёма. По сравнению с гранитом или песчаником, трещиноватость в известняке обычно не такая чёткая. Это затрудняет установку «традиционных» съёмных страховочных креплений (крюков и кулачков) для защиты на известняковых обрывах. Вместо этого для безопасности большинство использует в областях восхождения по известнякам предварительно установленные анкеры на болтах. Существуют кодексы поведения при скалолазании, такие как Кодекс восходителя (см. [Интернет-ресурсы](#)), которые обращают внимание на защиту биологического и геологического разнообразия, культурных ценностей (например, местная наскальная живопись) в местах скалолазания.

Каньонинг – спортивно-развлекательная деятельность на открытом воздухе, представляющая собой перемещение по каньону или ущелью, обычно вниз по течению. Могут использоваться разные методы: спуск по верёвке, скалолазание, прыжки и плавание. Хотя каньонинг стал популярным среди американцев и европейцев в 1970-е гг., впервые он появился в конце XIX века во Франции. Эдуард Альфред Мартель, известный как «отец современной спелеологии» и пионер прохождения и исследования пещер, сначала применил методы каньонинга для проведения научных исследований в труднодоступных областях ущелий. Чтобы минимизировать воздействие на окружающую среду во время каньонинга, рекомендуется придерживаться речных русел и избегать чувствительных речных наносов и растительности. Где возможно, рекомендуется использовать естественные точки опоры и съёмное снаряжение, чтобы избежать повреждений и защитить естественные карстовые поверхности. Кодекс поведения при каньонинге от Международной профессиональной организации каньонинга (см. [Интернет-ресурсы](#)) включает обсуждение экологических проблем и защиту окружающей среды.



Троллей или зиплайн в охраняемой области башенного карста в Фу Фа Марн (Phou Pha Marn), Лаос. Фото: Green Discovery Laos.

Рекомендации

- (32) *Пересечённые и отдалённые поверхностные карстовые ландшафты могут содержать в себе ценное геонаследие и неисследованное биоразнообразие. Необходимо исследовать их, прежде чем принимать решение о развитии приключенческих и туристических активностей.*
- (33) *Инфраструктура, необходимая для развития туристической активности на поверхностном карстовом ландшафте, должна быть подобрана и установлена с учётом минимального влияния на него – и визуально, и в смысле его цельности, а также могла быть без труда демонтирована в будущем, нисколько или почти не влияя на состояние карстового рельефа.*

Научные исследования

Пещеры – одно из лучших мест для изучения древней истории человечества и нашей планеты, а также биологических и эволюционных процессов. Как хорошо сохранившиеся «капсулы времени», пещеры содержат в себе разный древний органический материал, такой как кости, раковины, пыльца, древесный уголь, а также неорганический материал, включая обломочные отложения и натёки. Пещеры и входы в них служат временными или постоянными убежищами для многих видов растений, животных и микроорганизмов, не способных выжить на поверхности, особенно в засушливых областях или на территориях с суровыми температурными условиями.

Органические и неорганические материалы переносятся в пещеры в результате множества естественных геоморфологических процессов, обычно вместе с водой и, в некоторых случаях, с помощью ветра. После завершения осадконакопления и когда пещерные галереи становятся реликтовыми, отложения перестают подвергаться процессам выветривания, которые действуют на поверхности. Большинство активных карстовых гидрологических систем характеризуется быстрыми сквозными потоками, хотя в некоторых областях грунтовые воды могут располагаться на глубине, и могут потребоваться сотни или тысячи лет, чтобы они снова достигли поверхности. Если эти карстовые воды не смешиваются с поверхностными, то они достигают поверхности без каких-либо антропогенных загрязнений, таких как хлорфторуглероды или радиационное загрязнение 1950-ых гг. В целях исследования состояния среды обитания в доисторические времена или археологии пещер эти самые пещеры представляют собой «супермаркет» информации для разных направлений исследований – эта информация хранится в изотопах (которые в течение тысячелетий накапливались в натёках), скелетном материале и экологической (средовой) ДНК (е-ДНК), найденных в отложениях. Хорошо сохранившийся участок пещеры может дать множество подсказок и материалов для изучения индикаторов изменения климата, например, слои вулканического пепла, отложения паводков и богатство изотопов и органических остатков в капающей воде и натёках.



Биоспелеолог собирает беспозвоночных в пещере Фрауенхальден (Frauenhaldenhöhle). Фото: Rainer Straub.

Для биологических исследований пещеры подобны «подземным лабораториям» из-за их сильной изолированности и буферизованной окружающей среды, в которой отсутствуют или почти не ощущаются изменения, характерные для наземных мест обитаний. Здесь постоянно темно, почти неизменная температура и высокая влажность, мало пищи, отсутствуют или почти не ощущаются суточные или сезонные изменения. Эти относительно устойчивые и предсказуемые условия делают пещеры и их фауну подходящими для исследований фундаментальных биологических вопросов, которые касаются адаптации, потока энергии и эволюционных процессов. Активные пещеры обычно регулярно получают материал с поверхности, а реликтовые могут быть изолированными «подземными островами», в которых могут развиваться местные «троглобионтные» виды. Поскольку эти виды редки и обычно очень ограниченно распространены, важно оценить потенциальные воздействия, которые на них может оказать работа ученых.

Птицы, живущие в пещерах, и поселения летучих мышей страдают от любого беспокойства, связанного с проникновением людей в пещеру, независимо от характера научных исследований. Отлов летучих мышей и птиц, сбор гнёзд в местах гнездования и высиживания в пещерах для исследования или для целей традиционной еды/медицины, могут иметь очень существенные воздействия на местные поселения птиц и летучих мышей. Большинство популяций пещерных беспозвоночных, по всей видимости, не так сильно реагируют на человеческое присутствие. Вытаптывание – основная прямая угроза для отдельных пещерных беспозвоночных, и интенсивный поток людей может оказать существенное влияние на уязвимые виды, которые живут в нижних ярусах пещер и стараются сливаться с окружающей средой. Растворение мягких отложений, таким образом, общая проблема для всех исследователей пещер, не только ученых. Ходьба по незакрепленным камням может погубить виды, живущие под ними. Однако большинство беспозвоночных, вероятно, будет располагаться в мезо-полостях, и в пещерных галереях они появляются только тогда, когда условия становятся подходящими.

Чрезмерный сбор образцов учеными также стал считаться угрозой пещерной фауне. Это имело место в некоторых европейских странах, где европейский протей (*Proteus*) украшал музейные выставки. Пещерные жуки до сих пор ценятся в качестве коллекционных экземпляров, а бабочки вызывают интерес у профессионалов и энтомологов-любителей. Представляется, что чрезмерный сбор образцов в научных целях только тогда станет угрозой, когда научно-исследовательская работа потребует действительно огромного количества экземпляров, например, генетические исследования популяции, или когда популяция исследуемого вида является маленькой и изолированной. Большинство современных биологов знает о потенциальном воздействии чрезмерного сбора, и огромное большинство биологических исследований предпринимается с минимальным нарушением популяций и жизнеспособности видов. Сюда относится, например, удаление ловушек, которые больше не используются. Однако несистематический сбор индивидуальных экземпляров для научной идентификации и таксономии не должен восприниматься как угроза; такая работа важна для точной идентификации и сохранения видов. Плохо подготовленные (или проведенные) научные эксперименты могут привести к воздействию на окружающую среду. В течение 1970-х гг., например, была предпринята попытка копирования известной подземной лаборатории Мулис (Moulis), Франция, в бразильской пещере в охраняемой области. Попытка

потерпела неудачу, приведя к смерти большого количества рыб, приспособленных к жизни в данной пещере; кроме того, проблема усугубилась тем, что из пещеры не удалось убрать испортившееся лабораторное оборудование.

Важно иметь в виду, что самые большие угрозы пещерной фауне и пещерным экосистемам связаны не с научными исследованиями, а с деятельностью человека вне пещер: извлечение полезных ископаемых, сведение леса, сельское хозяйство, добыча грунтовых вод, загрязнение воды и отложений. Посетители пещер также могут воздействовать на пещеры, принося на себе в подземные экосистемы микробов (см. [«Рекреационное и приключенческое посещение пещер»](#)).

Создание охраняемых областей обычно сопровождается научными исследованиями, которые иногда находят отражение в названии объекта. Иногда охраняемые области создаются в результате научного исследования, подтвердившего существование ценных экологических активов, которые заслуживают охраны. Такое бывает в областях с ключевым, редким или находящимся под угрозой геонаследием. Однако есть много карстовых охраняемых областей, выделенных, прежде всего, по ландшафтным причинам, для которых нет чёткого понимания того, как образовались данные формы рельефа и какие процессы и взаимосвязи лежат в основе этих систем. Многие охраняемые карстовые области стали центрами первоклассных научных исследований, так как представляют важную природную ценность, и в них созданы все условия для такой деятельности.

Исследования в охраняемых районах значительно помогли пониманию карстовых систем. Национальные парки «Мамонтова пещера» в Кентукки и «Карлсбадские пещеры» в Нью-Мексико (объекты Всемирного наследия в США) стали ключевыми объектами для развития карстовой гидрогеологии и спелеогенеза (Мамонтова пещера) и гипогенного спелеогенеза и пещерной геомикробиологии (Карлсбадская пещера). В обоих национальных парках имеется инфраструктура для научных работ, включая жильё и дружелюбный персонал, что редко можно встретить во время исследований на частных землях. Кроме того, на охраняемых территориях легче сохранить научное оборудование. Мониторинг с помощью таких инструментов, как флуориметры или самописцы, контролирующие экологические параметры, обычно продолжается в течение длительных периодов, а, значит, подвергается риску повреждения или воровства. Персонал охраняемой территории может также помочь в сборе данных, проверке целостности оборудования и предоставлении научных данных, которые в противном случае были бы недоступны ученым в этом удаленном месте. В некоторых охраняемых территориях есть свои штатные учёные, иногда их называют «специалистами по пещерам». Это позволяет выполнять качественные исследования на постоянной основе. В национальном парке «Мамонтова пещера» подобная научная работа силами постоянных сотрудников привела к составлению самой подробной в мире картографической базы бассейнов грунтовых вод в карсте. Еще одним преимуществом собственного научного штата является возможность предоставления студентам и широкой публике всесторонней информации относительно карста и пещер. В США сотрудничество между национальным парком «Мамонтова пещера» и близлежащим Университетом Западного Кентукки позволило с 1979 г. реализовывать программу «Полевые исследования карста» – ряд недельных полевых семинаров, посвященных карсту и пещерам с участием как местных, так и приглашённых учёных.

То, что можно назвать «внутренним исследованием», нацелено на лучшее понимание охраняемых территорий и поэтому может напрямую влиять на эффективность управления. Хорошо структурированная программа мониторинга (см. [«Развитие эффективного мониторинга и уменьшение последствий»](#)), скорее всего, должна представлять собой форму научного исследования, результатом которого будут новые научные данные, которые следует тщательно проанализировать. Однако внутреннее исследование отличается от обычного мониторинга, поскольку рассматривает определенные вопросы (например, программа трассирования воды с помощью красителей, чтобы установить размеры водосборного бассейна источника или источников) или проблемы (например, выяснение причин снижения численности популяции специфических видов животных или растений, обнаруженных с помощью мониторинга). Напротив, «внешнее исследование» использует данные или материал, собранный в пределах охраняемой территории и рассматривает более широкие проблемы (например, реконструкция древней окружающей среды с использованием данных, сохраненных в натёках, или использование пещеры как подземной лаборатории). Хороший пример – это Виварий, расположенный в 50 м от входа в пещеру Постойна, Словения, часть которого является лабораторией, используемой для научной работы и исследований. Пещеры также используются как тестовые площадки для роботов, предназначенных для исследования пещер на других планетах. В некоторых ситуациях финансирование для исследований приоритетно направляется в охраняемые области. В Бразилии, где пещеры защищены на федеральном уровне, финансирование, компенсирующее воздействие на пещеры, должно быть, в первую очередь, направлено на исследования в пещерах. Некоторые экскурсионные пещеры, такие как популярная пещера Нерха (Nerja) около Малаги, Испания, также финансировали карстовые исследования, включая научные конференции.

На всех охраняемых территориях исследования в пещерах и на карстовых ландшафтах в идеальном случае должны начинаться только после письменного запроса и предоставления соответствующего пропуска. Такие пропуска необходимо запрашивать заранее, и желательно, чтобы команды исследователей работали с местными сообществами, обеспечивая оплату за услуги. В некоторых странах приняты определенные правила для исследователей из других стран, намеренных изучать пещеры и карст. Суть в том, чтобы гарантировать, что эти ученые не применяют «колониаторский» подход, и что принимающая страна участвует в исследовании и может использовать полученные данные.

Международный союз спелеологов (МСС) принял Этический кодекс для международных спелеологических экспедиций, в которых есть исследовательский компонент (см. [Интернет-ресурсы](#)). Особенно важно, чтобы те, кто предпринимают исследование в странах без истории изучения пещер, помогали местным сообществам понять цель своей работы, чтобы избежать возможных недоразумений. Один неудачный случай был с экспедицией в Эфиопию, где местным жителям сказали, что натёки «ценны для научных исследований». Это привело к нашествию в пещеры местного населения – люди выламывали натёки, полагая, что смогут потом их продать.

По возможности персонал охраняемой территории должен быть ознакомлен с научно-исследовательской работой и вовлечён в сбор данных. Это даст персоналу возможность ссылаться на результаты исследований во время проведения экскурсий, а также предоставлять другим командам ученых важные подробности проведённых ранее работ. Желательно, чтобы научные работники представляли свои исследования в доступной для простого обывателя форме: например, развернув постерную презентацию в информационном центре для посетителей, опубликовав статью в сети Интернет или пост в социальных сетях. Иногда выпадает возможность широкого освещения научной работы. Британская ассоциация пещерных исследований (BCSC) установила систему контроля за климатом в реальном времени в пещере Пула (Poole's), участке особого научного значения в Бакстоне, Англия. Данные загружаются на вебсайт BCSC и могут быть скачаны и использованы любым человеком бесплатно (см. [Интернет-ресурсы](#)).

Следующие пункты рекомендовано включить в анкеты-заявления на получение разрешений на исследования в пещерах:

- описание проекта, и для внешних исследований указание причин, почему они должны быть предприняты в охраняемой области, а не на другом участке;
- местоположение(я), где должно быть установлено оборудование или где будут собираться образцы (и объём и частота отбора) с обоснованием выбранного места;
- оценка потенциального воздействия на пещеру и перечень мер, которые будут предприняты, чтобы минимизировать эти воздействия. В качестве примера можно привести изучение натёков для исследования палеоклимата/состояния среды обитания в доисторические времена. В 1980-х гг., когда для этого требовалось относительно большое количество материала, часто учёные выносили из пещер целые натёки. Сегодня для исследований этого обычно не требуется, так как достаточно лишь маленького количества материала, которое можно извлечь в виде тонкого керна. Если на натёчном образовании продолжается отложение кальцита, то вместо извлечённого материала ставится небольшая «закрывающая» пробка. Лучше всего работать уже со сломанными образцами натёков, которых обычно немало в посещаемых пещерах. Если сломанных натёчных образований нет, следует выбрать материал, находящийся вне поля зрения посетителей и обладающий ограниченной эстетической ценностью;
- подробности любого запланированного биологического или микробиологического отбора проб. Это особенно важно в том случае, если ученые планируют отбирать пробы в пещерах одной страны, а анализировать в другой, поскольку некоторые страны не разрешают экспортировать такие материалы без дополнительных документов из-за частых случаев биологического пиратства. С другой стороны, некоторые страны, такие как Австралия и США, приняли строгие законы относительно импорта биологического материала или почвы;
- использование беспилотных аппаратов и роботов для фотографирования и картографирования пещер обученными операторами является недавней разработкой, которая может обеспечить высококачественные данные для научного анализа и интерпретации, но любое использование этих устройств должно быть одобрено в рамках разрешения на проведение исследования.

Лица, рассматривающие заявки на пропуск, должны знать, что устаревшие научные методы или протоколы могут привести к серьезному повреждению пещерных и карстовых ресурсов. Подобное происходит во время археологических и палеонтологических работ, когда раскопки и удаление артефактов или биологических остатков выполняются без контекстного (таксономического) исследования на месте, значительно ограничивая возможности получения важной информации о хронологии и формировании отложений. Важно, если это возможно, сохранить репрезентативную часть отложений для будущей работы с использованием более передовых методов. Именно стабильные условия окружающей среды, которые помогают сохранять палеонтологические ансамбли и их окружение, являются наиболее уязвимыми. Раскопки в таких галереях могут повлечь за собой существенные изменения в энергетическом режиме и, соответственно, серьезное воздействие на подземную окружающую среду. Все археологи знают, какие именно материалы негативно сказываются на результатах дорогостоящих методов датировки, однако до сих пор во многих участках пещер, где ранее проводились раскопки, можно найти разлагающиеся пластиковые пленки и потрепанные сетки для затенения. В отличие от разрушений на поверхности, следы деятельности человека в подземной окружающей среде со средней или низкой энергией могут сохраниться до сотен или даже тысяч лет. Необходимо, чтобы исследователи использовали технологические достижения, особенно в области наземного удалённого мониторинга, сокращая, таким образом, количество посещений пещеры. Фотоэлектрические батареи и небольшие ветровые турбины позволяют вести непрерывный мониторинг без лишних посещений пещеры для замены батарей, а данные можно загружать удаленно с помощью мобильного телефона или спутниковых сетей.



Бурение в натёке для палеогеографических исследований, согласно разрешению, выданному на участке особого научного значения, Великобритания. Фото: John Gunn.

Рекомендации

- (34) Все охраняемые территории с пещерами и карстовым ландшафтом должны развивать направление, связанное с научными исследованиями, включая процедуру подачи заявок и выдачу разрешений на исследования.
- (35) Желающие провести исследования в пещерах должны продемонстрировать своё знание окружающей среды пещер и положений местного спелеологического кодекса минимального воздействия, или сотрудничать с опытными учёными, которые знают пещеру и гарантируют приверженность кодексу.
- (36) Для тех пещер, которые имеют план управления, должна быть секция по исследовательской активности.
- (37) Для всех исследователей, работающих на охраняемых территориях в пещерах или в карстовых областях на поверхности или под землёй, необходимо тщательно оценить свой проект на предмет потенциальных выгод и рисков повреждения окружающей среды или культурных ценностей.
- (38) Особое внимание следует уделить методам, гарантирующим минимальный отбор образцов фауны, натёков и отложений, а исследователи должны публиковать результаты в форме, понятной широкой общественности. По завершении проекта исследователи должны демонтировать всё оборудование и в случае необходимости обеспечить восстановление повреждённого участка.

Сельское и лесное хозяйство

Развитие человечества неразрывно связано с вырубкой естественной растительности, главным образом, леса, и его заменой пахотной землей. Такие изменения разрушали естественные экосистемы с их сложившимся флористическим составом и биотой. Во всём мире только те карстовые области не испытали воздействия от лесного и сельского хозяйства, которые расположены в отдалённых местностях или защищены от вырубки леса или сельского хозяйства. Многие виды антропогенного воздействия на карстовый ландшафт являются прямыми и локализованными в определенном месте, например, горнодобывающая промышленность, а масштаб воздействия может меняться от мелкого до значительного. Опустынивание, широко распространенное в Средиземноморском бассейне и в южном Китае, например, является следствием эрозии почвы, вызванной вырубкой местной растительности и последующей сельскохозяйственной активностью. Это считается самым интенсивным воздействием человека на карстовый ландшафт. Даже в умеренных областях, где карстовые породы в значительной степени покрыты почвой, наибольшее антропогенное воздействие (с точки зрения площади покрытия) обычно приходится на сельское хозяйство.



Карстовый ландшафт, используемый под пастбища, Мирадор де Камба (Mirador de Camba), Испания. Фото: David Gillieson.

Средиземноморье, колыбель европейской цивилизации, является «типичным местом» воздействия человека на карст в умеренно-тёплом климате. Естественные первозданные сосновые и кедровые леса постепенно заменялись вторичными кустарниковыми сообществами, известными как *гаррига* или *фригана*. Похожие растительные сообщества развиты и севернее – в Балканах и Восточной Европе, где господствует более умеренный или умеренно-континентальный климат (сербский *шибляк* и *колючая манжетка*, относящиеся к классу кустарников *Crataego-Prunetea*). Эти теплолюбивые сухие кустарники формируют доминирующие растительные сообщества на многих известняковых карстовых нагорьях. За пределами Европы встречаются похожие сообщества, но сформированные относительно недавно. На Мадагаскаре сведение естественного леса для преобразования в пахотную землю стало главной угрозой местной эндемичной фауне в потоках пещер из-за быстрых изменений в трофических основаниях пищевой цепи и вызвало серьезные потери биологического разнообразия. В некоторых карстовых областях Юго-Восточной Азии сведение леса и его замена плантациями масличных пальм вызывает особую озабоченность. Те карстовые области, которые остаются, по существу, в естественном состоянии, поддерживают богатое биологическое разнообразие по сравнению с соседними ландшафтами. Традиционная деятельность местных сообществ способствует сохранению этого биоразнообразия, однако оно быстро может быть разрушено в результате коммерческой деятельности. И если лесоводство и сельское хозяйство воздействуют на биоразнообразие напрямую, их влияние на карстовое геонаследие в значительной степени косвенное и имеет отношение, прежде всего, к изменению качества и количества воды.

Сельское хозяйство на карстовых ландшафтах

Сельское хозяйство в карстовых областях всегда было непростым делом, и попытки местных сообществ решить такие проблемы, как нехватка воды, обычно сказывались на карстовых системах. В некоторых частях Европы с определённым климатом и традициями сельского хозяйства развился особый тип ландшафта, иногда называемый «агрокарст». Методы ведения сельского хозяйства на карсте, как и сам карст, в значительной степени зависят от климата. Выделяют три крупных климатических зоны:

- Влажно-тропические области с интенсивным сельским хозяйством (рис, сахарная свекла), где обычно есть яркие карстовые ландшафты (например, Юго-Восточная Азия).
- Умеренные карстовые области со смешанным сельским хозяйством с акцентом, в основном, на выращивании зерна (особенно, пшеницы и кукурузы) и овощей, а также умеренно-тёплая зона виноградников или оливковых деревьев. Выпас и разведение скота также могут сильно влиять на качество и количество воды в карсте.
- Холодный климат в высоких широтах или на возвышенностях, где преобладает животноводство и/или террасное выращивание сельскохозяйственных культур.

В башенном и коническом карсте Юго-Восточной Азии можно найти многие традиционные методы сельского хозяйства, например, в карсте Фэнлинь-Фэнсун в провинциях Юньнань, Гуйчжоу и Гуанси на юго-западе Китая, в коническом карсте Бохол (Bohol) на Филиппинах или башенном карсте Гунунг Севу (Gunung Sewu) в Индонезии. За долгое время эти сообщества соорудили террасированные холмы и горы с целью уменьшить уклон и сохранить дождевую воду в течение влажного сезона. Заливное рисоводство Бохола (Bohol), Филиппины, – пример гармоничной интеграции между

карстовым ландшафтом и сельскохозяйственной практикой, что привело к устойчивому земледелию в масштабах нескольких столетий. Сезонный календарь, который использовался в течение многих веков местными сообществами, которые старались адаптировать своё сельское хозяйство к влиянию климата, кажется, лучше всего соответствует естественной регулирующей системе подстилающего карста. К сожалению, упадок ирригационных систем вызвал социально-экологические изменения (замена выращивания заливного риса менее экономически ценной сельскохозяйственной системой, основанной на кукурузе) с серьезными последствиями для «влажных» низменных карстовых областей. Напротив, историческое использование карста в Юго-Западном Китае (одна из крупнейших карстовых областей в мире) привело к серьезному опустыниванию и эрозии почвы в результате сельскохозяйственной деятельности и связанной с ней вырубкой леса, а также увеличило потребление воды.



Интенсивное сельское хозяйство на дне большой депрессии в карсте Ванфенлинь (WanFenglin), Гуйчжоу, Китай. Карстовые башни на втором плане подверглись существенному сведению леса, хотя некоторые участки леса сохранились. Фото: John Gunn.

В умеренных зонах слабо наклонные плато, осложненные карстовыми воронками, формируют общую карстовую топографию, которая в её наиболее развитой стадии приводит к полигональному карсту. Там, где этот ландшафт был первоначально покрыт плотной зрелой лесной растительностью, карстовые воронки могут служить убежищем для сосудистых растений, что в условиях глобального потепления важно для их сохранения. В этих областях вырубка леса обычно приводит к сносу отложений в более низкие участки карстовых воронок, с последовательным изменением в гидрологическом режиме, как это наблюдается в карсте Кинг-Кантри (Новая Зеландия). Карстовые воронки обычно специально заполняются, чтобы увеличить площадь выровненной области. Карры могут быть разрушены по этим же причинам, а также в результате карьерных работ для добычи камня в целях строительства или получения декоративного камня. Каждое из этих действий может вызвать серьезные изменения в функционировании подземных геосистем.

Сельское хозяйство исторически связано с вырубкой леса, эрозией почвы, что впоследствии серьезно влияет на осадочные процессы и модели использования пищевых ресурсов как в поверхностных, так и в подземных потоках. Это действует как основные факторы стресса на сообщества беспозвоночных, обитающих в потоках пещер. Отложения, поступающие в пещеру, например, будут откладываться в областях с более низкой скоростью потока, таким образом, изменяя среду обитания. Отложения могут также нарушить гидравлику каналов, особенно если они накапливаются во фреатических зонах. Органическое загрязнение изменяет структуру сообщества пещерной биоты и в целом приводит к уменьшению её распространения и разнообразия. Растворённое органическое вещество и биопленки на окатанных камнях – важные источники энергии для сообществ, живущих в водных потоках. Другие антропогенные факторы стресса воздействуют на метаболизм подземных организмов и включают металлы и металлоиды, пестициды, удобрения, другие загрязнители и летучие органические составы. Распространёнными источниками загрязнений являются удобрения и компост, вносимые под полевые зерновые культуры, хранилища навоза, загон для откорма скота, доильные цехи,

птице и свинофермы, а также скотные дворы. Коксон (Coxon, 1999) привел примеры сельскохозяйственных воздействий и описал решающую роль карстовых водоносных слоев в передаче агрохимикатов и патогенных организмов к источникам. Это не только влияет на подземные организмы, но может и непосредственно угрожать здоровью человека. В области Ваитомо (Waitomo) в Новой Зеландии, например, отходы свинарника попали в карстовую воронку и привели к загрязнению источника, который поставлял воду на ферму. В Ирландии карстовый источник, используемый для снабжения города Кастлейслэнд (Castleisland), был законсервирован из-за загрязнений от близлежащей фермы. Одно из самых серьезных и хорошо описанных воздействий сельскохозяйственного загрязнения на карст случилось в мае 2000 г., когда муниципальные скважины в Волкертоне (Walkerton), Канада, оказались загрязненными патогенными бактериями – более 2300 человек заболели и 7 из них скончались.



Известняковая мостовая Шешимор (Sheshymore) в глобальном геопарке ЮНЕСКО «Буррен и скалы Мохер», Ирландия. Анализ пыльцы говорит о том, что в доисторические времена в этой области был мощный слой минеральной почвы и росли деревья. Сведение леса сопровождалось катастрофической эрозией почвы – этот процесс принято называть каменистым опустыниванием. Фото: John Gunn.

Большая часть загрязнений проходит через точечное пополнение карстовых вод через карстовые воронки и поэтому может быть минимизировано, если: 1) запрещён прямой сброс сельскохозяйственных стоков в области массового поглощения, таких как исчезающие потоки, карстовые воронки или другие естественные точки входа, и 2) вокруг этих областей установлены буферные зоны. Вспашка или выпас домашнего скота должны быть запрещены в буферных зонах, а также там необходимо поддерживать сплошной растительный покров для фильтрации любых примесей, поступающих с пашни. Особенное внимание необходимо уделять областям, где сохранился только тонкий почвенный покров на карстовых породах, как это было, например, в Волкертоне.

Изменения в использовании пахотной земли может уменьшить концентрации углекислого газа в почве, что, в свою очередь, повлияет на скорость растворения пород в эпикарсте и потенциально на отложение карбоната в пещерных натёках. Концентрация CO_2 в почве обычно заметно выше под естественным лесом, чем, например, под лугом, в то время как под пастбищем концентрации выше, чем под полем с зерновыми культурами. Это значит, что, согласно исследованиям, концентрации CO_2 в почве могут быстро вырасти в результате преобразования пахотной земли в луга, и такая практика может применяться на деградированных карстовых ландшафтах. Сокращение почвенного покрова в результате эрозии приведёт к ускоренной инфильтрации, особенно после интенсивных ливней, и если это происходит выше пещеры, малонасыщенные быстро проникающие воды могут растворять натёки.



Сезонно культивируемые земли на поле Церкнишко (Cerkniško), Словения. Фото: David Gillieson.

Лесное хозяйство на карстовых ландшафтах

Леса – самая распространенная форма медленно растущей естественной растительности, важная для регулирования и функционирования карстовых систем. В карстовых областях леса – важный компонент биогеохимического цикла. Для эффективного управления карстовыми территориями, засаженными деревьями, представляется целесообразным рассмотреть некоторые аспекты природы лесов и изменчивости содержания углекислого газа (CO_2) в почве. После океанов почва – второй по величине поглотитель углерода на Земле. Лесная растительность и почва под ней – и поглотитель, и накопитель CO_2 из воздуха, то есть они получают углерод из воздуха, запасают его и постепенно отдают его обратно. Часть этого CO_2 растворяется в воде, которая просачивается вниз, вызывая растворение известняка и формирование полостей и пещер под землей. Таким образом, углеродный бюджет карстовой системы крайне важен для её функционирования, и существует определенный баланс между растительностью, почвой, породой и грунтовыми водами в пределах каждой карстовой области или бассейна. Изменение использования земли или новая растительность меняют этот баланс, а изменение климата – это ещё один фактор, влияющий на доступность воды и активность растительности. Дополнительный углерод поглощается почвой под лесной растительностью, способствуя дальнейшему растворению известняка, при этом часть растворённых ионов карбоната откладывается в натёках. Для этого химического отложения, обычно происходящего в пещерах при осаждении кальцита, требуется более длительное время пребывания инфильтрационной воды и более низкая скорость падения капель. Эти условия обычно встречаются в умеренно трещиноватых коренных породах с малыми полостями, которые непрерывно проводят и распределяют просачивающуюся воду в большие полости. Корни деревьев выделяют CO_2 в почву, таким образом, усиливая растворение породы, также формируя определенную структуру эпикарста (верхний гидрологический уровень карстовой системы) и разрушая коренную породу во время своего роста. Деятельность микробиоты почвы очень важна для регулирования углеродного цикла, поскольку она выпускает сохранившийся CO_2 из почвы назад в атмосферу. Углерод, выделяющийся при выветривании известняка, в конечном счете, поступает в океан через грунтовые воды и реки, хотя некоторая (неизвестная) часть реализуется из почвы в атмосферу или при прямой дегазации выходящей на поверхность грунтовой воды. В целом, выветривание известняка считается углеродным стоком через «двойное карбонатное выветривание», однако это не всегда бывает именно так, и эффективность процесса, вероятно, меняется в разных районах или бассейнах.

Лесное хозяйство – важный тип использования земли со специфическими проблемами. Старые леса обычно классифицируются как равновесные сообщества, обладающие высокой устойчивостью в силу своего очень длительного развития. Некоторые из этих лесов занимают отдалённые карстовые территории в горах или тропических областях, но могут быть подвергнуты опасности непрерывным расширением человеческой среды обитания, туризма или добычи древесины. Эти леса требуют строгой охраны и должны быть защищены от любой формы использования человеком. Методы лесного хозяйства включают дорожное строительство (сопровожаемое подрезанием склонов), заготовку леса, выращивание саженцев и пересадку деревьев, а также ряд мероприятий после вырубki. Вырубка леса оставляет землю



Залесённая карстовая территория в Словении. Фото: John Gunn.



Лесохозяйственная деятельность может воздействовать на целостность карстовых ландшафтов с карстовыми воронками. Строительство дорог и заготовка древесины сплошными рубками уничтожает естественную лесную растительность. Вместо неё появляются одновозрастные лесонасаждения – «лесопосадки». Карстовые воронки без адекватных буферных зон могут быть заполнены отходами лесозаготовок, что приводит к дестабилизации их более крутых внутренних склонов. Озеро Бонанза (Bonanza), Остров Ванкувер. Фото: Paul Griffiths.

временно или надолго лишённой защиты, предоставляемой устойчивым покровом растительности, что означает внезапное изменение в балансе всей системы. Быстрые изменения происходят вскоре после того, как лес срублен,

приводя к увеличенному проникновению в почву ливневых осадков, увеличенному производству азота из-за разложения древесных остатков и начала эрозии почвы. Эрозия вызывает дальнейшие изменения в структуре эпикарста, и снижение поглощения CO₂ с отрицательными последствиями для баланса карстовой системы.

Заготовка леса – не единственная угроза целостности карстовой окружающей среды. Введение чужеродных, более производительных видов деревьев в устойчивые и стабильные лесные сообщества, развитые на карсте, и часто фундаментальное изменение типа леса (например, хвойный вместо лиственного леса или плантации масленичной пальмы вместо тропического леса) может привести к масштабному гидрологическому и химическому нарушению равновесия карстовых вод, увеличению кислотности почвы, ускорению растворения коренных пород и деградации натёков. Антропогенные пожары в лесах или на пастбищах, смежных с лесами, имеют долгосрочные негативные последствия, главным образом, в виде обжига и растрескивания поверхностей коренных пород, увеличения концентрации растворённых неорганических веществ в грунтовых водах, изменения химии грунтовых вод и их гидрологического режима.

При планировании заготовки леса или других мероприятий лесного хозяйства в карстовых областях чрезвычайно важно тщательно оценить значение и чувствительность поверхностного карста и его связность с подземным. Прежде необходимо исследовать и нанести на карту карстовую область, оценить её чувствительность к изменениям (или уязвимость) и разработать соответствующие рекомендации по управлению. Следует уделить внимание анализу типа и масштабов лесохозяйственной деятельности в пределах карстового водосборного бассейна.

Рекомендации

- (39) Сельскохозяйственная деятельность может вызвать существенные неблагоприятные воздействия на карстовые геосистемы. Менеджеры охраняемой области должны: (а) обращать особое внимание на любые предложения по изменению в землепользовании, и (б) давать рекомендации о соответствующем типе сельского хозяйства и специфических условиях на территории для минимизации воздействия на количество и качество воды.*
- (40) При землепользовании пахотные земли требуют осторожного управления почвой для минимизации эрозионных потерь и изменений свойств почвы, таких как аэрация, стабильность почвенных агрегатов и содержание органических веществ, а также для поддержания благоприятной почвенной биоты. Пастбищные угодья требуют управления для поддержания растительного покрова, и особое внимание следует обратить на уровень пастбищной нагрузки. Поскольку через карстовые воронки происходит точечный сток воды, нужно следить, чтобы они оставались в своём естественном состоянии, и никогда не должны заполняться или использоваться для захоронения отходов.*
- (41) Везде, где возможно, буферные зоны должны быть установлены вокруг областей сконцентрированного стока, таких как поглощаемые потоки, карстовые воронки или другие естественные входы, поскольку они могут служить каналами для попадания загрязнителей и загрязняющих веществ в подземную карстовую систему. В буферных зонах не должна происходить вспашка земли, и должен поддерживаться сплошной растительный покров, чтобы отфильтровывать любые взвеси в стоке с вспаханной земли. В буферных зонах лесов важно сохранение и потенциальное улучшение местной растительности.*
- (42) Должен быть налажен мониторинг за количеством грунтовых вод, извлечённых для орошения. Должен максимально использоваться сбор дождевой воды.*
- (43) Что касается качества воды, нужно препятствовать использованию пестицидов и гербицидов, если только это не единственная возможность для борьбы с вредителями и сорняками. Использование удобрений должно быть по возможности сокращено или переведено на применение натуральных. Необходимо следить за буферными зонами областей концентрированного стока, и применение химикатов не должно происходить в то время, когда почвы насыщены влагой или близки к насыщению, и есть риск внесения химикатов поверхностными потоками в карстовые системы.*
- (44) Прежде чем проводить лесохозяйственные мероприятия в карстовых областях, необходимо инвентаризировать и нанести на карту область, оценить её чувствительность к изменениям (или уязвимость) и разработать подходящие предписания по управлению. Следует уделить внимание предварительному анализу типа и масштаба лесохозяйственной деятельности в пределах определённого карстового водосбора, а также последующему мониторингу, чтобы убедиться, что все предписания выполняются, а чувствительные карстовые области находятся под защитой.*
- (45) Естественные леса, выросшие на карстовых ландшафтах, включая зрелые деревья и перестойный лес, не должны подвергаться сплошной рубке, заготовкам древесины или любому антропогенному воздействию. Для таких лесов особенно важно природоохранное управление, чтобы сохранить экосистемные преимущества природной среды поверхностного и подземного карстового ландшафта.*



Удаление естественной лесной растительности сплошной рубкой, сопровождаемой пожарами, может вызвать существенную эрозию почвы, напоминающую «каменистое опустынивание», наблюдаемое в Южно-китайском и Динарском карсте. Эта деградация карстовых ландшафтов может изменить гидрологический сток и привести к уничтожению среды обитания и снижению биологического разнообразия. Огонь вызывает обжиг и растрескивание верхних поверхностей коренных пород эпикарста. Карстовый ландшафт ручья Кинман (Kinman), Остров Ванкувер. Фото: Paul Griffiths.



Сплошная вырубка естественно развитых лесов в карстовых областях с маломощными почвами может привести к серьёзному смыву почвы под действием силы тяжести в трещины и другие полости в коренных породах. Запланированное сжигание порубочных остатков и/или лесные пожары могут усугубить последствия лесозаготовок. Ранее покрытые почвой карровые формы с глубокими углублениями теперь обнажены. Карстовый ландшафт реки Тахсис (Tahsish), Остров Ванкувер. Фото: Paul Griffiths.

(46) В областях, где естественный лес был срублен и заменён другими видами, менеджеры должны запланировать замену чужеродных видов типом лесопосадок, который лучше всего приспособлен к экологическим условиям этого объекта.

Добывающая промышленность

Примечание по терминологии. В этом документе мы используем термин «карьер» для поверхностных разработок и «шахта» для подземных.

Пещеры и карстовые области содержат залежи полезных ископаемых, которые использовались людьми, начиная с так называемого «каменного века». Известняк – наиболее распространённая горная порода, характерная для карстовых ландшафтов, использовался в течение тысячелетий как строительный камень. К XXI столетию он стал одним из наиболее широко используемых материалов в мире, как составная часть цементных смесей, а также широко используется в химических и фармацевтических отраслях промышленности, в изготовлении бумаги и бумажной массы, в сельском хозяйстве как известь, в изготовлении железа и стали, как строительные блоки или декоративный камень, а еще во множестве экологических процессов, включая удаление серы из газа. Доломит обычно используется как удобрение. Некарбонатные породы, формирующие карст, также имеют практическое применение. Гипс обычно используется в удобрениях и в строительной промышленности; соль находит применение в пищевой и химической промышленности; железорудные формации важны для изготовления железа и стали; а кварцит – распространенный декоративный камень. Поэтому не удивительно, что добывающая промышленность способна оказывать серьезное воздействие на пещеры, карстовое георазнообразие и экосистемы.

В дополнение к коренным породам с карстовыми областями связано ещё несколько экономически важных видов отложений. Некоторые полезные ископаемые, особенно содержащие цинк, свинец, серебро, флюорит, барит и апатит, заполняют разрушенные структуры или каналы в карбонатных отложениях, которые называются «палеокарстом». Иногда ценные полезные ископаемые оказываются в пещерах случайно, как это иногда происходит с минерализованными рудными жилами или каналами, или жилами, ведущими к участку, в котором будет происходить добыча. Полезные ископаемые с достаточной экономической ценностью могут концентрироваться в карстовых депрессиях или быть внесены в пещеры. В центральной Бразилии алмазы из конгломератов добывались в кварцитовых пещерах, что потребовало строительства каменных стен и модификации пещерных галерей. В мире около 60% всей нефти и 40% всех запасов природного газа сосредоточены в карбонатных породах, месторождения которых связаны, главным образом, со вторичными структурами пористости, такими как горизонты высокой проницаемости и изолированные полости (называемые «кавернами» в нефтяной литературе).

Существует некоторые минералы, которые, хотя и не залегают в карстовых породах, могут быть хотя бы частично связаны с карстовыми процессами. Примером может служить глинозём – богатые алюминием остатки выветривания, обычно связанные с карстовыми породами. Чрезмерное использование грунтовых вод (есть даже термин «добыча воды»), хотя и не распространенное в карстовых областях, может рассматриваться как форма добывающей деятельности, особенно если откачка воды превышает поступление. Это часто имеет место при осушении больших шахт.

Наконец, еще одна категория полезных ископаемых, связанных с пещерами, – это химические или органические отложения, сформированные в сухих галереях. Селитра представляет собой почвенные отложения, богатые нитратом, которые обычно встречаются в пещерах во всем мире – она интенсивно использовалась как первичный компонент для создания пороха, главным образом, в течение XVIII-XIX столетий. Гуано – богатые органикой экскременты птиц и летучих мышей – интенсивно добывалось в Северной и Южной Америке, Юго-Восточной Азии и Австралии в течение XIX столетия для производства удобрений. Карлсбадские пещеры были одним из таких участков. Сегодня «натуральная» добыча гуано местными фермерами широко распространена в тропиках. Это, конечно, не возобновляемая добыча – она разрушительна для важных палеоэкологических архивов и сообществ беспозвоночных животных, зависящих от гуано. По сей день гнезда птиц, произведенные с использованием слюны стрижей, легально собираются в пещерах Малайзии и Таиланда и продаются как дорогой гастрономический деликатес.

Полезные ископаемые, связанные с карстом, добывались с доисторических времен. В содержащем углерод известняке около Лландидно (Llandudno), Великобритания, медные рудники насчитывают возраст около 4000 лет, а мумии в пещерах свидетельствуют о достижениях американских индейцев, которые проходили километры галерей в Мамонтовой пещере, США, чтобы собрать гипс и кремень, используя обычные факелы. Точно так же местные австралийцы пересекли около 1000 м галерей, чтобы добывать кремень в пещере Куналда (Koonalda) в Нуллаборе. Добыча известняка или травертина в строительных целях продолжалась тысячелетия, особенно в богатом карстовыми породами Средиземноморском регионе. Связанная с европейским «открытием» Америки и Австралии, экономическая важность карстовых отложений привела к буму в производстве удобрений из гуано и крупномасштабной добыче селитры в пещерах, которая в США была важна для производства пороха во время Гражданской войны 1860-х гг. Со времени промышленной революции увеличился спрос на некоторые полезные ископаемые, связанные с карстом.

Воздействие добывающей промышленности на окружающую среду широко варьирует в зависимости от вида деятельности, типа месторождения и технологии добычи, а также от экономических факторов. Карбонатные породы занимают около 15% континентальной поверхности Земли, вследствие чего их рыночная стоимость ниже, чем менее распространённых полезных ископаемых. Однако потребность в карбонатных отложениях постоянно растёт, а породы высокой очистки, используемые в фармацевтической и химической промышленности, стоят дороже.



Стенка карьера и частично разрушенные пещеры, Таиланд. Фото: John Gunn.

Добыча других полезных ископаемых, которые содержат карстовые породы, также зависит от экономических факторов, а цены на минеральное сырьё колеблются в зависимости от спроса. Один из циклов повышения спроса связан с быстрым ростом китайского рынка с конца 2000-х гг. и включает в себя потребность в базовых металлах, таких как железо. Цены на другие важные металлы также увеличились из-за быстрого роста возобновляемой энергетики – литий, никель и кобальт необходимы для производства аккумуляторов для электромобилей. Эти экономические мегациклы подстегивают мировую горнодобывающую промышленность, а добыча минерального сырья подбирается к охраняемым территориям. Особенно эта проблема актуальна для развивающихся стран, в которых высокий спрос и цены на это сырьё сделали его стратегически важным.

Добыча карбонатных пород

Небольшое количество известняка очень высокой чистоты или доломитовых отложений добывалось в подземных шахтах, но основное количество породы извлекалось из открытых разработок. В развитых странах первые карьеры были небольшими местными предприятиями, однако теперь большая часть породы добывается в нескольких крупных карьерах, обычно расположенных на склонах холмов или бортах долин. Многие из этих карьеров работали в течение десятилетий, и поскольку разрешение для новых разработок обычно получить непросто, управляющие действующих участков стремятся расширить территорию или углубить карьер. Типичная проблема для менеджеров охраняемых территорий заключается в том, что некоторые участки добычи функционировали на охраняемой территории или на её границе прежде, чем она была объявлена таковой, как, например, в Национальном парке «Пик Дистрикт» (Peak District), Англия.

В развивающихся странах, особенно в тропических областях, ещё осталось много малых известняковых карьеров, и это большая проблема для территорий с коническим или башенным карстом, где относительно небольшой карьер может стереть с лица земли целый холм, на котором живут эндемичные виды. В таких ситуациях разработка большого карьера за пределами охраняемой территории и закрытие малых карьеров, вероятно, значительно уменьшит вредные воздействия, особенно если на этом большом карьере внедрить высокие экологические стандарты.

Добыча пород железорудных формаций

В отличие от карбонатных пород, которые обнажаются на обширных площадях, железорудные формации – намного менее распространенные породы, сформированные в течение определенных геологических событий, которые происходили более, чем миллиард лет назад. Поскольку высокая концентрация железа возникает из-за выщелачивания кварца и мобилизации железа (те же самые процессы, которые создают пустоты и пещеры), большинство высокосортных рудных тел связано с пещерами. Эти породы пользуются высоким спросом, и в Бразилии существенная часть пород железорудных формаций была уже добыта, а многие из еще неразработанных месторождений уже включены в будущие планы разработок. И хотя в большинстве случаев шахты воздействуют на карст очень локализовано из-за своего относительно малого размера, не стоит забывать о крупных обрабатывающих предприятиях, связанных с участком добычи, а также об обширной сети поставщиков, которая способствует быстрому развитию городов, – всё это приводит к значительному воздействию на больших площадях. В Каражасе (Carajás), что в бразильской Амазонии, самые большие в мире запасы железной руды были обнаружены только в 1967 г., и расположены они на нескольких плато, содержащих более 2000 пещер. Первоначально в этой области была очень низкая плотность населения – здесь, в древнем тропическом лесу Амазонки, жили только индейские племена. Несколько лет спустя после открытия месторождения тут началась добыча, и к 2020 г. численность населения превысила 300000 человек, которые живут в новых городах, выросших благодаря шахтам.

Воздействия добывающей промышленности

Полезные ископаемые могут добываться как в открытых карьерах, так и из подземных шахт. Воздействия этих двух форм добычи различаются, особенно на охраняемых территориях. Рассмотрим их по отдельности.

Воздействия карьеров

У карьеров выделяют два возможных типа воздействия: во-первых, прямые воздействия в пределах объекта и, во-вторых, косвенные воздействия на более широкую территорию. Первый вид воздействия – следствие удаления любой перекрывающей почвы и поверхностных отложений для обнажения добываемой породы. Если порода карбонатная, удаление участка почвы выражается в непосредственной потере большей части углекислого газа, который участвует в процессе растворения пород, поскольку он производится в почвенной зоне. После удаления любой почвы и поверхностных отложений первая порода, которая будет подвергнута выемке – это порода из эпикарста, области, где происходит большая часть процесса растворения. Выемка этой породы будет непосредственно воздействовать на растворение и на количество карбоната кальция, достигающего источников, водосборный бассейн которых включает карьер. Например, в лесу Дин (Dean), Великобритания, есть известняковый карьер в водосборном бассейне охраняемых источников, откладывающих известковый туф. На источниках проводится мониторинг, чтобы определить, уменьшают ли карьерные работы содержание карбоната в воде, и воздействует ли карьер на отложение известкового туфа.

Из-за относительно низкой стоимости карбонатных пород почти не бывает карьеров, разрабатываемых под толстым слоем вскрышных пород, но всё меняется, когда необходимо добывать более ценный минерал. В этом случае материал, не имеющий экономической ценности (вскрышная порода или вмещающая порода для добываемого минерала), складывается в хвостохранилищах или в виде отвалов, которые могут оказывать более неблагоприятное воздействие на окружающую среду, чем сам карьер.

Прежде карьеры обычно располагались на склонах холмов или долин, поскольку легче извлекать породу сбоку, чем вынимать из глубины. Это приводило к изменению ландшафтов или их полному разрушению, что вызывает беспокойство в областях конического или башенного карста, когда в результате карьерных работ может быть срезан весь холм. В дополнение к очевидной потере георазнообразия множество холмов в тропических областях являются местобитаниями летучих мышей и содержат редкие виды, некоторые из которых могут быть эндемичными для одной единственной карстовой башни.

Поскольку карьеры расширяются горизонтально или вертикально, растет вероятность пересечения с элементами карстовых дренажных систем (каналами) или пещерами. Если у карьера есть разрешение от соответствующих властей, невозможно избежать разрушения пещер, однако такие разрешения должны включать требование научного описания морфологии пещер и отложений. В некоторых странах законодательно установлена компенсация за разрушение пещер. В Бразилии, например, было юридически разрешено разрушение любой пещеры, которая не попадала в категорию чрезвычайно важных, при условии, что за её разрушение выплачивалась компенсация в виде денежной выплаты или вступало в силу требование постоянной охраны другой пещеры или пещер. Это привело к созданию многих охраняемых территорий, включая новые национальные парки, которые защищают важные карстовые области и пещеры. Однако такая стратегия сохранения имеет свои риски, так как стоимость обычно привязывается к государственным экономическим индексам, в то время как цены на руды сильно изменяются. Во время товарного бума на металлы, который преобладал с 2000-х гг., затраты, связанные с разрушением пещер, можно считать ценой, которую стоит заплатить, если сравнивать её с гораздо более высокими финансовыми затратами, необходимыми для открытия и эксплуатации новых карьеров. Кроме того, стоимость запасов полезных ископаемых, находящихся в любой пещере, обычно превышает цену, которую придётся заплатить за разрушение пещеры. В начале 2020 г. в Бразилии общий необратимый ущерб мог составить до 1 млн долларов США на каждую пещеру.

Когда карьер, или часть карьера достигает уровня, ниже которого дальнейшее извлечение породы станет невозможным, появляется возможность для проведения восстановления, которое будет особенно ценным, если карьеры находятся в пределах охраняемой территории. Например, можно создать в основании карьера новый эпикарст из любых оставшихся обломков известняка (возможно, их нужно измельчить для повышения проницаемости воды) и покрыть их почвенным материалом или мелкими частицами известняка (от 3 мм до пыли) с органическими добавками. По бортам карьера с помощью методов репликации рельефа можно создать ландшафт, близкий к естественному, такой как скальные выступы, обрывы, крутые склоны и каменистые осыпи.

Воздействия за пределами карьера связаны, прежде всего, с взрывными работами и водой, и в обоих случаях карьер, расположенный вне охраняемой территории, способен оказывать на неё воздействие. Взрывные работы оказывают сложное и комплексное влияние – оно касается как проектирования взрыва и его реализации, так и геологического строения территории. Есть примеры пещер, которые пересекались карьерами, но при этом в самих пещерах не происходило никаких морфологических изменений галерей или натёков. Но есть примеры, когда пещеры, расположенные в нескольких сотнях метров от карьеров, испытывали повреждения. Пока еще мало изучены воздействия шума и вибрации на фауну пещер. Однако очевидно, что воздействия можно минимизировать, если производить взрывные работы современными методами, в которых тщательно вычисляется количество взрывчатого вещества и его положения в каждой взрывной скважине, а задержки в миллисекунды используются для того, чтобы уменьшить чрезмерное давление воздуха и вибрацию. Раньше для взрывных работ использовалось самое простое взрывчатое вещество ANFO (нитрат аммония и горючее), которое смешивалось возле буровой скважины или даже непосредственно в ней. Такой способ представляет угрозу длительного загрязнения так называемой «тяжелой неводной жидкостью» (DNAPL). Для современных взрывов используют заранее перемешанный ANFO, обычно с взрывчатым веществом в виде эмульсии. Однако хранение горючего потенциально способно загрязнять карстовые территории. Некачественная обработка нитрата аммония может также привести к загрязнению нитратом грунтовых вод. Оба продукта, которые создают ANFO, обычно хранятся и смешиваются в карьере перед использованием.

Гидрологические воздействия карьеров связаны с водой, которая поступает на объект или стекает с него. Как и с взрывными работами, важно тщательно оценивать гидрогеологическую ситуацию. Вода может проникнуть в карьер поверхностным стоком или из стенок карьера при пересечении горизонтов грунтовых вод. Для поверхностного стока необходимо долгосрочное планирование, так как вода, захваченная из дренажных бассейнов в результате расширения карьера, может серьезно нарушить его работу. Поток грунтовых вод в карьер может сильно колебаться. Некоторые карьеры пришлось закрыть из-за наводнений, вызванных грунтовыми водами. При этом в других карьерах глубиной более 100 м почти не было бокового притока воды. Если карьер перехватил грунтовые воды более обширной области, это может привести к развитию карстовых провальных или суффозионных воронок, причем порой они могут появиться в нескольких сотнях метров за пределами территории карьера. Любые притоки в карьер могут повысить активность загрязняющих веществ в пределах этого участка и транспортировать их к колодцам и источникам.

Воздействие на карьер текущей воды зависит от того, вытекает ли она из карьера на поверхность или откачивается из водоносного слоя. Наземные потоки из карьеров часто содержат много илистых частиц, которые могут засорить участки поглощения карстового водоносного слоя или изменить и нарушить текущие потоки и ареалы обитания. Такие

воздействия можно уменьшить, направляя воду в отстойные бассейны, способные выдерживать крупные паводки, происходящие примерно один раз в 100 лет. Если в отложениях накапливаются загрязнители, их необходимо переместить на полигоны отходов, специально для этого организованные. Воздействия на водоносный слой происходят там, где необходимо откачивать воду из карьера для понижения уровня грунтовых вод и проведения работ в карьере. Осушение карьеров повышает риск развития карстовых воронок, которые могут быть опасны для инфраструктуры. Также осушение может уменьшить расход или вообще прекратить сток из карстовых источников и скважин. Напротив, потоки, получающие откачанную воду, меняют свой режим с увеличением как общего стока, так и пиковых значений паводков.



Стенка карьера в карстовом районе Лагоа Санта (Lagoa Santa), Бразилия, обнажающая подпочвенные карстовые башни. Фото: Augusto Auler.

Пыль от добычи и разрушения пород в карьерах может увеличить количество отложений, если они попадают в карстовые пустоты, и нарушать гидравлику и осадконакопление в поверхностных потоках. Контроль распространения пыли – постоянная проблема для многих карьеров, так как пыль может привести к серьезному загрязнению воздуха микрочастицами. После закрытия карьеров возникают проблемы, связанные с загрязнением грунтовых вод из-за незаконных свалок бытовых и промышленных отходов. В некоторых странах карьеры и шахты должны за свой счет сделать рекультивацию. После закрытия карьеров важно рассмотреть вопросы землепользования для развития территории.

Обычно любые попытки построить новый карьер или расширить существующий на охраняемых территориях сталкиваются с противодействием, поэтому важно, чтобы любые такие планы тщательно рассматривались с точки зрения воздействий, особенно в сравнении с потенциальным ущербом от нового карьера в другом месте. Если карьер затронул и разрушил галереи пещеры или есть опасность загрязнения источников, это веский аргумент против дальнейшего расширения карьера. Однако в других ситуациях углубление или расширение существующего карьера, возможно, не приведет к каким-либо новым воздействиям на карстовый рельеф и гидрологию и может быть предпочтительнее, чем открытие нового карьера. Там, где углубление карьера требует осушения, возникают дополнительные вопросы: в любом случае, заявка на строительство должна содержать убедительные доказательства отсутствия каких-либо неблагоприятных воздействий на охраняемые территории, скважины и родники, которые служат важными источниками воды для человека и окружающей среды.

Воздействия шахт

Поверхностные воздействия подземных шахт связаны с территорией вокруг входа (или входов), ведущего вниз, а также с территориями, на которых происходит обработка породы или утилизация отходов. Новые шахты не должны располагаться на охраняемой территории, если только это не продиктовано стратегической необходимостью (в этом случае обработку и утилизацию отходов необходимо вынести за пределы охраняемой территории). Однако может существовать возможность добычи полезных ископаемых в недрах охраняемой территории, если вход в шахту расположить за границей этой территории. Современные технологии добывающей промышленности минимизируют риск обрушений, а самое существенное воздействие, вероятно, происходит при удалении грунтовых вод из горных

выработок. Один из методов, который широко использовался в прошлом в некоторых карстовых областях, это прокладка дренажных штолен из глубоких долин для уменьшения подъема уровня грунтовых вод на большом участке. Это приводит к уменьшению стока в потоках, а иногда и к полному их осушению, в то время как реки, питаемые штольнями, увеличивают свой сток. Более глубокие современные шахты обычно требуют крупномасштабных схем осушения, иногда со скоростью откачки воды более 6 м³/с. В пористых средах в результате откачки образуются конические депрессии в горизонтах грунтовых вод, но в большинстве карстовых пород проницаемость является заметно анизотропной, и зоны воздействия осушения могут распространяться на многие километры, особенно там, где шахты пересекают каналы. Как и с дренажными штольнями, общие воздействия – это потеря стока к источникам и питаемым источникам потокам и увеличение стока в реках, которые получают откачанную воду. Там, где коренные породы перекрываются более чем тремя метрами почвы, снижение уровня грунтовых вод в поверхностных отложениях обычно приводит к формированию карстовых воронок проседания. Дополнительные воздействия касаются изменений химического состава воды и количества переносимых взвешенных частиц.

Когда шахты и карьеры пересекают пещерные галереи, это может воздействовать на климат пещер, а это, в свою очередь, может повлиять на среду обитания летучих мышей. Разрешая строительство шахты или карьера, следует учесть мероприятия по минимизации воздействий на важные виды летучих мышей или на среды обитания вымирающих видов. Известняковый карьер Грир (Greer) в Западной Вирджинии, США, например, работал в тесном сотрудничестве с исследователями пещер, что позволило картографировать пещеру Хелхоул (Hellhole) протяженностью 50 км, расположенную около карьера, являющуюся важным местом спячки для двух видов летучих мышей, находящихся под угрозой исчезновения.

Как и у карьеров, у шахт ограниченный срок работы, обычно не больше нескольких десятилетий. В некоторых случаях это происходит из-за исчерпания полезного ископаемого, но чаще шахты закрываются потому, что становятся нерентабельными из-за увеличения затрат на добычу или уменьшения рыночных цен. Если найдено новое применение для полезного ископаемого, которое делает его рентабельным, может возникнуть желание вновь открыть шахты, которые были законсервированы в течение многих десятилетий. В странах с длительной историей эксплуатации полезных ископаемых есть много шахт и добывающих участков, которые были брошены, обычно без попытки восстановления. В некоторых случаях эти участки сделали охраняемыми с учетом их исторической важности или из-за появления редких растений на нарушенной поверхности или насыпях. Другие участки являются источником экологических проблем, таких как эрозия почвы, кислотный дренаж шахтных вод и формирование воронок обрушения. Надлежащее закрытие шахты, которое называют «вывод из эксплуатации», является часто очень сложным и дорогостоящим процессом, и расходы на него в прошлом редко включались в эксплуатационные затраты на добычу полезных ископаемых. Иногда избежать любых затрат на вывод шахты из эксплуатации пытаются с помощью «стратегического банкротства». Вывод из эксплуатации и правильное последующее закрытие шахт в карстовых областях должно включать долгосрочный мониторинг движения поверхности грунтов, качества грунтовых вод и изменения поверхностных и подземных экосистем.

Выводы

Задача согласования деятельности добывающей промышленности и сохранения карстовых ландшафтов и пещер всегда непростая, поскольку имеет отношение как к потенциальным или фактическим воздействиям на окружающую среду, так и к политическим и экономическим факторам с заинтересованными сторонами как местного, так и международного масштаба. Бывали случаи, когда добыча разрешалась на охраняемой территории якобы «в национальных интересах», и иногда для обеспечения добычи вообще не применялись никакие мероприятия по охране. Однако в XXI столетии в корпоративной промышленности постепенно внедряются практики ESG (экологические, социальные и управленческие методы), а также приходит понимание, что отказ охранять важные участки может повредить репутации компаний и их руководителей. В 2020 г. разрушение важных археологических участков в двух пещерах железорудной формации привело к масштабным общественным протестам в Австралии – сначала со стороны коренных австралийцев, но затем и более широко с использованием социальных сетей. Давление акционеров привело к отставке генерального директора и нескольких управляющих. Парламентское расследование этого случая продолжалось в момент составления этих рекомендаций, и мы надеемся, что оно может привести к изменениям в законодательном регулировании в области горного дела и обеспечить подобным объектам более адекватную защиту.

У большинства отраслей добывающей промышленности высокий и неэкологичный углеродный след. Было подсчитано, например, что при производстве цемента выделяется CO₂, «запертый» в карбонатных породах во время их формирования и диагенеза, что составляет 8% глобальной эмиссии парниковых газов. Еще больший процент приходится на сжигание ископаемого топлива (газ и нефть), извлекаемое из карбонатных пластов. Поскольку человечество прилагает огромные усилия для уменьшения выбросов для снижения темпов потепления, эти отрасли промышленности, уже находящиеся на «экологическом распутье», вероятно, столкнутся с трудными временами.

Хотя уязвимая природа карста и пещер противоречит добывающей деятельности, поиск баланса необходим. Иногда карьеры, работавшие очень близко к пещерам, или шахты, вырытые под карстом, не производили значимого

воздействия. В других случаях имело место серьезное разрушение гидрологических систем, полное уничтожение георазнообразия и гибель эндемичных видов. Маловероятно, что можно когда-либо добиться полного равновесия между выгодой и потерями, однако строгая научная оценка, детальный мониторинг и стремление к минимальному воздействию ведут в правильном направлении.



Известняковый карьер Даулоу (Dowlow) в Пик Дистрикт, Великобритания. Площадь карьера около 0.5 km², и в 2021 г. его самая низкая точка располагалась примерно на 100 м ниже поверхности земли, но карьер не пересекал никакие каналы или пещеры, не было никакого притока грунтовых вод со стен карьера. Фото: Tony Marsden.

Рекомендации

- (47) Необходимо препятствовать открытию новых шахт или карьеров в охраняемых карстовых областях, если нельзя показать, что нет никакого альтернативного источника этих полезных ископаемых, а сами ископаемые дефицитны или имеют высокую экономическую или стратегическую ценность.
- (48) Любое предложение о новой шахте или карьере в карстовой области должно подлежать детальной экологической оценке, которая учитывает особенности района и его границ, а также возможность удалённого воздействия через поверхностные и карстовые грунтовые воды.
- (49) Экологическая экспертиза должна описать и оценить ценность пещер, карстового рельефа и экосистем, а также наличие альтернативных участков для добычи с менее серьёзными воздействиями. В случае отсутствия таких участков должна быть тщательно разработана охраняемая буферная зона вокруг важных пещер и карстовых объектов, чтобы защитить целостность экосистемы пещер, так же как непрерывность гидрологических процессов.
- (50) Если строительство и разрушение карстовых объектов неизбежны, необходимо провести описание и по возможности переместить части объекта для научных исследований (например, натёки и отложения для палеоэкологических исследований).
- (51) Если добыча разрешена, должна иметься хорошо разработанная система защиты окружающей среды и протокол мониторинга условий во время работы и эффективности системы охраны, чтобы при необходимости можно было вносить в неё изменения. Должен также быть разработан детальный план закрытия объекта добычи, включающий надлежащее восстановление и долгосрочный мониторинг, а также заложенное финансирование для закрытия.

Развитие и инфраструктура

Люди всегда использовали карст и пещеры в самых разных целях: для проживания, защиты, сельского хозяйства или водоснабжения. В средневековье в Европе в пещерах строились укрепления и замки, такие как Предьямский замок (Predjama) в Словении: пещера служила для защиты, а также по пещерным галереям можно было уйти в случае вторжения. Небольшие предприятия также использовали пещеры в своих интересах. На входе в пещеру Пик (Peak), Англия, в средние века было устроено производство веревок, и даже образовалось небольшое поселение рабочих. Производство сохранилось до наших дней, хотя сегодня веревки в основном делают для продажи туристам, которые посещают пещеру. В объекте Всемирного наследия Южно-Китайский карст у входов в пещеру сохранились небольшие жилища. Многие пещеры используются для выдержки сыра; знаменитый сыр Рокфор с голубой плесенью считается настоящим, только если он созрел в пещере Комбалу (Combalou), Франция. Грибы, пиво, вино, кимчи и некоторые

другие продукты раньше (а во многих странах и сегодня) производились или созревали в пещерах. При дорожном строительстве иногда использовались участки пещерных галерей как более удобный вариант, чем строительство дорогостоящих туннелей: например, дороги, которые проходят сквозь пещеру Мас-д'Азиль (Mas-D'Azil), Франция, и участок пещеры Дженолан (Jenolan), Австралия. На многих карстовых источниках можно найти элементы технической инфраструктуры. Дальнейшие примеры инфраструктуры в пещерах и карстовых районах касаются использования воды (см. [Водоснабжение](#)), создания карьеров и шахт (см. [Отрасли добывающей промышленности](#)) и развития туризма (см. [Экскурсионные пещеры](#)).



*Предъямский замок (Predjama), Словения, был построен во входе пещеры в XIII столетии.
Фото: David Gillieson.*

Естественно, что рост населения и развитие инфраструктуры влияли и будут влиять на карстовые области. Экспоненциальный рост населения в течение последних двух столетий тесно связан с индустриальным развитием и урбанизацией. Общая численность населения, живущего в карстовых областях или находящегося в зависимости от карстовых ресурсов, таких как вода, все время растёт, и оценивается в 1,18 млрд человек в 2020 г. В областях, где карстовый ландшафт является доминирующим типом, города и промышленные объекты построены на нём. Это приводит к увеличению экологического давления на хрупкие карстовые экосистемы. Однако успехи в понимании карстовой динамики и устойчивый подход к его использованию привели к пониманию, что развитие общества и охрана карста могут и должны идти рука об руку. Развитие и инфраструктура в карстовых областях могут иметь различные типы и функции, а значит, могут по-разному воздействовать на хрупкие пещерные экосистемы. Выделяют следующие виды инфраструктуры:

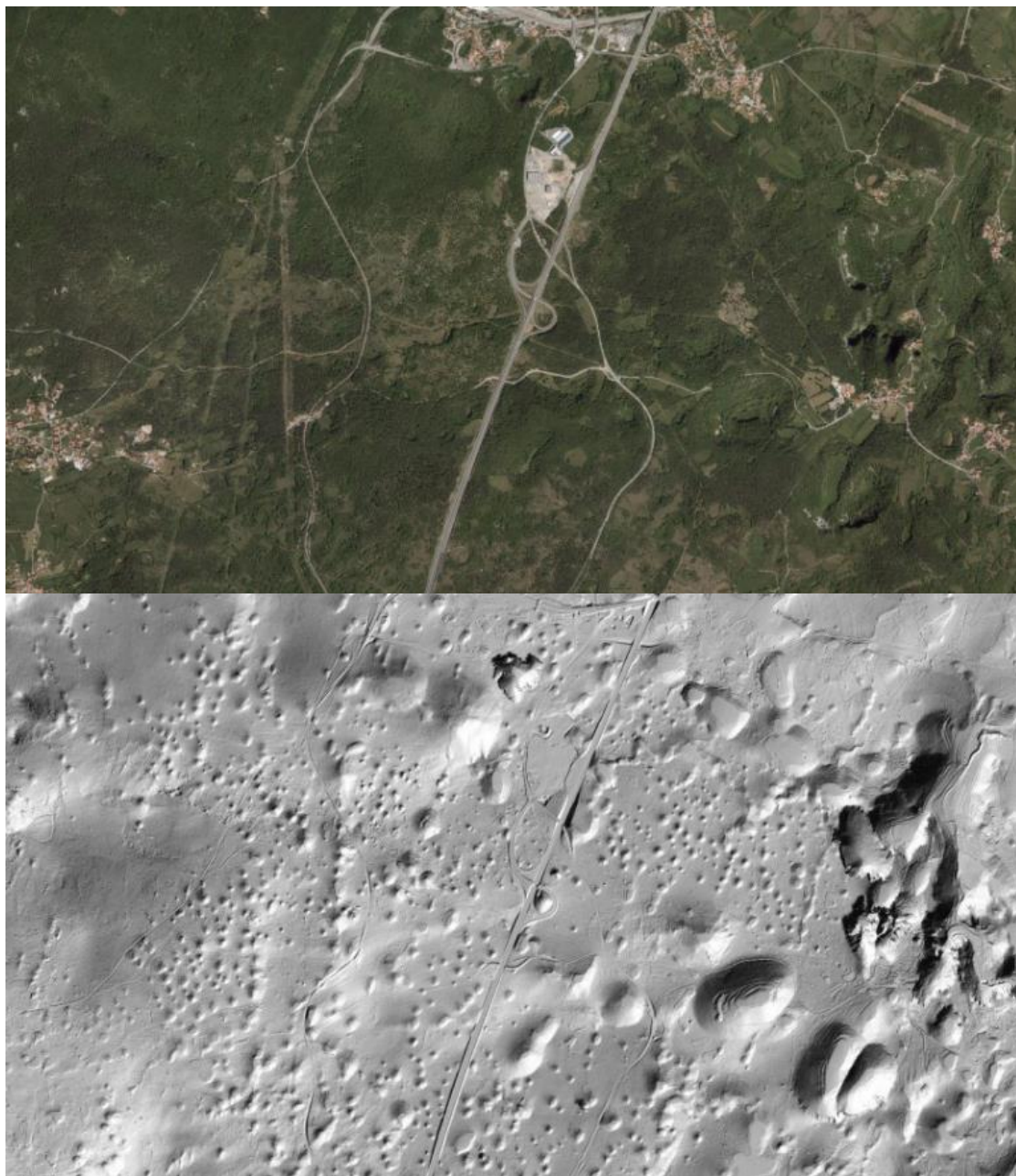
- Линейные сооружения;
- Дамбы и водохранилища;
- Промышленные объекты;
- Городская застройка.

Эти типы обычно связаны между собой, и граница между ними часто условная. По правилам (которые, к сожалению, выполняются далеко не везде), любому инфраструктурному строительству должна предшествовать экологическая экспертиза участка и прилегающей территории (буферной зоны). Эта экспертиза включает подробное изучение местоположения и протяженности пещер и поверхностных карстовых объектов, чтобы оценить, стоит ли продолжать строительство объекта или нужно искать альтернативные участки. Изменение местоположения конкретного объекта

иногда невозможно, например, если это водохранилище и дамба. Однако в большинстве случаев подобная экспертиза, которая поначалу может выглядеть дорогостоящей и слишком радикальной, в итоге может оказаться мудрым решением, поскольку позволит избежать больших затрат, связанных с экологической компенсацией или судебными процессами.

Линейные сооружения

Линейные сооружения включают шоссейные и железные дороги, линии электропередач, водные каналы и другие структуры, имеющие узкую форму и значительную протяженность. Они предназначены для транспортировки людей, товаров, воды и энергии, и их плотность непосредственно связана с экономическим развитием и численностью населения.



Аэрофото- (верх) и лидарный (низ) снимки карстовых воронок около Дивачи (Divaca) в Словении. Из Атласа окружающей среды Экологического агентства республики Словении (EARS).

Из-за характерного пересеченного ландшафта карстовых областей строительство линейных сооружений может быть затруднительным. Строительство туннелей – распространённая альтернатива для пересечения карстовых горных массивов, но это может привести к вскрытию неизвестных пещер и к прорыву воды. Также важно оценить уровень стабильности близлежащих пещер и их возможную реакцию на вибрацию во время строительства и эксплуатации.



Обход второстепенной дорогой карстовых воронок, как показано выше, – простая и эффективная стратегия, однако, главные автомагистрали должны быть как можно более прямыми. На этой фотографии показана карстовая воронка на маршруте автострады через Словению. Карстовую воронку раскопали, а нижнюю часть загерметизировали перед тщательным уплотнением с помощью наполнителя, чтобы уменьшить риск обрушения. Фото: John Gunn.



Маршрут той же самой автострады в Словении проходит над объектом, который изначально был вскрытой пещерой, заполненной отложениями. Сотрудничество между строителями и Карстовым институтом в Постойне обеспечило тщательное обследование пещеры перед её заполнением обломками пород и герметизацией для уменьшения риска обрушения. Фото: John Gunn.

Может произойти частичное или даже полное разрушение пещер из-за транспортной вибрации, однако это случается редко и зависит от местной геологии и глубины расположения пещер. Есть дороги, которые проходят над пещерами или идут вдоль них без существенного морфологического повреждения. Похожие геотехнические решения относятся к использованию пещер как естественных мостов. В таких ситуациях для каждого отдельного случая необходимо провести исследование, подтверждающее, что ни пещера, ни дорога не пострадают. Обычно планирование линейных сооружений – достаточно гибкий процесс, и если есть возможность обойти уязвимые карстовые территории, это должно быть сделано на ранней стадии строительства.

Сток с автомобильных и железных дорог часто загрязнён: он попадает в канавы, а оттуда, в конечном счете, к точкам поглощения на карстовых территориях, потенциально угрожая загрязнением источникам и водопроводной сети. Если в результате аварии произойдет распространение химикатов, это может повлечь за собой опасные последствия. Химические соединения ведут себя по-разному в зависимости от их плотности и состава. Очистка загрязненной химикатами почвы карстовых районов и пещер – часто сложная и дорогостоящая задача. Из-за анизотропных характеристик карстовых водоносных горизонтов и из-за высоких скоростей течения через каналы часть загрязненной воды с высокой концентрацией химикатов может быстро вновь оказаться на поверхности (спустя часы или дни после проникновения), в то время как остаток загрязнённых вод сохраняется в эпикарсте и более мелких каналах, а значит, загрязнение всё ещё может оставаться опасным спустя десятки или сотни дней, хотя уже и не в таких высоких концентрациях.

Карстовые процессы также могут повлиять на линейные сооружения, особенно при активизации формирования карстовых воронок или обрушений в неглубоко расположенных пещерах. Геофизические исследования используются для обнаружения пустот и пещер, однако провалы могут появиться и после проведения таких исследований из-за утечек воды из трубопроводов или дренажных каналов. Линии электропередач меньше воздействуют на карстовые территории из-за большого интервала между опорами, хотя известны случаи формирования карстовых воронок вблизи опор. Приблизительно с 2010 г. наблюдается рост рынка возобновляемой энергии, особенно ветровой. Хотя расположение ветряков не строго линейное, эти башни обычно устанавливают параллельными рядами, используя опыт строительства других линейных сооружений. Эти тяжелые строения желательно располагать подальше от пещер, тем более что нет строгих требований к их местоположению. Ветровые турбины также опасны для летучих мышей, причем не из-за прямого контакта с лопастями, но в результате баротравм из-за внезапного понижения давления воздуха, которое разрушает легкие летучих мышей. Ветровые турбины должны располагаться и эксплуатироваться после консультации с биологами, изучающими летучих мышей, чтобы минимизировать вред их видам в регионе.

Дамбы и водохранилища

Вода в карстовых областях обычно течёт под землей. И хотя в этих районах много поглотителей, воронок и источников, сток по поверхности совсем небольшой. По этой причине для человека всегда было важным получить доступ к воде для личного потребления или для сельского хозяйства. Это потребовало разработки технических решений, таких как бурение скважин или размещение насосных устройств в пещерах. Подходящая альтернатива – строительство дамб или водохранилищ с целью удерживать воду на поверхности и контролировать распределение потоков. Карстовые породы хорошо растворяются и поэтому не образуют высокогорных ландшафтов, а значит хорошо подходят для строительства дамб. Кроме того, глубоко врезаемые долины или каньоны, иногда образующиеся из-за обрушения сводов пещер, – обычный рельеф во многих карстовых областях, и представляют собой привлекательные участки для дамб. Тысячи дамб и водохранилищ были построены в карстовых областях, еще начиная с Античности, особенно в Европе и Китае.

У большинства дамб и водохранилищ в карстовых областях присутствует небольшая утечка воды: с самого начала это считается приемлемым, даже если использовалось обширное и дорогостоящее цементирование пустот. Это связано с тем, что геофизические методы с увеличением глубины теряют точность, и существующие технологии не могут надёжно определить размер и местоположение потенциальных маршрутов фильтрации через каналы и пещеры. Кроме того, любая дамба или водохранилище поднимает уровень воды на большую высоту, чем она ранее существовала, таким образом, увеличивая «гидравлический градиент». Это приводит к росту скорости потока грунтовых вод, который, становясь турбулентным, способен выносить отложения, когда-то заполнявшие существующие галереи. Другой потенциальный недостаток состоит в том, что этот градиент увеличивает скорости растворения, вызывая расширение каналов во время долгой эксплуатации дамбы, особенно в эвапоритовых областях, где породы гораздо растворимее карбонатных. Поэтому не удивительно, что фильтрация увеличивается со временем. Кроме того, утечка через трещины и пещерные галереи вниз по течению от водохранилища и давление водяного столба могут вызвать развитие карстовых воронок, которые способны привести к появлению новых зон фильтрации и вызвать мелкомасштабные землетрясения на окружающей территории. Дополнительные экологические проблемы связаны с гидравлическими связями с другими гидрологическими бассейнами и препятствиями к перемещению водной фауны, а также загрязнением воды. Если дамба признана слишком затратной или экологически вредной, можно поставить вопрос о её демонтаже. И хотя это дорого, технически сложно и несёт дополнительные риски, это может оказаться дешевле, чем длительное заливание раствором, обслуживание или другие мероприятия по восстановлению дамбы.

В некоторых карстовых областях дамбы построены с целью увеличить накопление воды в водоносных слоях. В принципе, согласно более эффективному и не особо сложному проекту, дамба помещается сверху по течению от карстовой области – и тогда осадконакопление происходит там, где оно не закрывает карстовые каналы, и вода, таким образом, поступает со скоростью, которая позволяет всему потоку уходить в водоносный слой. Однако такой проект не всегда возможен. Альтернативный проект – когда дамбу помещают в нижнем течении, и забор воды происходит непосредственно из карстовой области. Этот метод приводит к более высокому осадконакоплению в пещерах и каналах, и большему воздействию на экосистемы пещер, не приспособленных к таким гидрологическим условиям. Кроме того, попавшие в водохранилище загрязнители окажутся непосредственно в водоносном слое, в то время как модель дамбы,

расположенной сверху по течению, дает больше возможности зафиксировать, удалить или нейтрализовать загрязнители прежде, чем они попадут в грунтовые воды. Эти проекты не должны использоваться в неглубоких карстовых водоносных слоях при низком уровне грунтовых вод, где дополнительная вода будет быстро течь через водоносный слой и выходить из него. Определённый успех был достигнут в увеличении объёма грунтовых вод в больших глубоких артезианских карстовых водоносных слоях, таких как водоносный горизонт Эдвардс в Техасе, США.



Дамба гидроэлектростанции, построенной на карстовой территории, Лаос. Фото: Terry Bolger.

Промышленные объекты

Промышленные объекты различаются по размерам, форме и целям. Перерабатывающие заводы, связанные с сырьём, полученным из карстующихся пород (например, цемент) или добытыми из них полезными ископаемыми, обычно располагаются близко к карьере или шахте, то есть построены в карстовом районе. Для них характерно: 1) высокое водопотребление для охлаждения и переработки полезных ископаемых; 2) потребность в ископаемом топливе; 3) области захоронения, которые иногда бывают гораздо обширнее, чем заводская площадка, особенно в тех случаях, когда имеется много примесей или пустой породы. Это означает, что некоторые промышленные объекты наносят большой урон карстовой среде и требуют тщательного контроля выбросов. Чрезмерная откачка грунтовых вод может привести к понижению поверхности земли и обрушению воронок. Загрязнение воздуха включает не только вредные парниковые газы, но и различные макрочастицы, которые могут повредить пещеры и карстовые образования.

Отрасли промышленности, не связанные с извлечением полезных ископаемых, обычно располагаются ближе к потребителям или к маршрутам транспортировки. Некоторое изменение строительных или региональных норм, вероятно, будет необходимо из-за особой уязвимости карстовых ландшафтов. Например, согласно схемам устойчивого дренажа (SUDS), инженеры должны предусмотреть отстойники или инфильтрационные пруды, чтобы избежать перегрузок ливневого дренажа. В карстовых областях перегрузки дренажа могут инициировать образование провальных воронок, нарушение и изменение количества и качества грунтовых вод. Обычный для многих отраслей промышленности большой углеродный след приводит к сильным воздействиям вне карстовых областей.

Городская застройка

Как уже упоминалось в разделе «Особая природа карстовых территорий и пещерных систем», концентрированное насыщение карстующихся пород водой в естественных условиях происходит через трещины, карстовые воронки и поноры, хотя большинство точек поглощения рассеяны и ослаблены, особенно там, где есть почвенный покров и

растительность или поверхностные отложения. Городская застройка на карстовых территориях – пример мощных изменений, которые усиливают некоторые из проблем, связанных с другими типами инфраструктуры. Города обычно сильно изменяют естественную структуру проникновения воды, создавая большие непроницаемые области, состоящие из крыш, тротуаров и дорог. Эти изменения, вероятно, приводят к концентрированному стоку, обычно мутному и загрязненному отложениями, нефтепродуктами, жиром, свинцом и химикатами. Таким образом, есть потребность в эффективном отводе дренажа в сторону от карстовой области, если это возможно, в противном случае необходимо существенное улучшение качества воды. «Колодцы ливневой канализации» необходимы во многих городах, таких как Боулинг Грин (Bowling Green), Кентукки. Боулинг Грин основан на холмистой карстовой равнине и является одним из нескольких городов, под которым есть пещерная система. Это увеличивает возможности загрязнения карстового водоносного слоя. Отсутствие в прошлом правил градостроительного зонирования привело к строительству в карстовых воронках, которые затапливаются во время сильных ливней. Заполнение грунтом других карстовых воронок уменьшило их способность для дренажа и уменьшило возможность накопления паводковых вод. Уменьшение способности естественной дренажной системы поглощать и отводить воду может приводить к наводнениям в городах в карстовых областях. Избавление от мусора и сточных вод является другим ключевым вопросом в карстовых областях, особенно в менее развитых странах. В некоторых городах отсутствуют какие-либо общегородские очистные системы, а сточные воды сбрасываются или прямо в дренажные каналы или ручьи, либо сливаются в самодельные подземные резервуары или в трещины и воронки в карсте. Эти рудиментарные системы не фильтруют и не уменьшают рассеивание загрязнителей и могут представлять серьезную угрозу карстовым водоносным горизонтам и пещерным экосистемам. Кроме того, непроницаемые материалы могут изменить местный гидрограф стока, увеличив его скорость, а также уровень воды в пещерах и воронках, а также сократить продолжительность реакции водосборного бассейна на непогоду, что приводит к меньшему количеству воды, доступной во время засушливых периодов.

Сток ливневой канализации из городских областей может быть очень токсичным, содержать нефтепродукты, жир, бактерии от точечных и неточечных источников загрязнений. Уровни бактериального загрязнения в городских районах также могут быть очень высокими из-за просачивания из канализационных систем, отходов домашних животных и городской дикой природы, что приводит к серьезной деградации грунтовых вод.

«Полигоны твердых отходов» обычно подлежат строгому планированию. Эти области должны быть расположены, если это возможно, вне карстовых областей на непроницаемых горных породах, и должны быть ограждены непроницаемыми барьерами, чтобы предотвратить утечку. К сожалению, в развивающихся странах эти условия соблюдаются редко, что приводит к загрязнению почвы и грунтовых вод. Атмосферное загрязнение из-за транспортных средств, жилищ и отраслей промышленности – другой тип воздействия на окружающую среду, особенно сильный в городах, который может привести к кислотным дождям и рассеиванию микропластиков.



Мусор, транспортируемый пещерным потоком в карстовой области Лагоа Санта (Lagoa Santa), Бразилия. Фото: Luciana Alt.

Если опасные вещества (HazMat) используются и транспортируются через карстовые территории, это приводит к существенным воздействиям на пещеры и грунтовые воды. Выявление, контроль и ликвидация последствий инцидентов с опасными материалами очень трудны из-за следующих проблем:

- Почвы почти не ослабляют действие загрязняющих веществ.
- Высокие скорости движения грунтовых вод (> 1 км/день) в карстующихся породах могут способствовать перемещению загрязнителей на большие расстояния прежде, чем они смогут быть задержаны и удалены.
- Сложно точно определить, какими именно путями переносятся загрязнения между точкой поглощения и точкой выхода.
- Системы мониторинга сложны и дороги в установке, работе и обслуживании.
- Системы мониторинга могут не отражать реального состояния концентрации или степени загрязнения из-за анизотропной природы потоков грунтовых вод в карстовых областях.
- Хорошие специалисты в карстовой гидрогеологии встречаются довольно редко.
- Восстановительные мероприятия часто трудно проводить в пещерах, и они могут быть малоэффективны.

Выброс опасных материалов может произойти из-за аварий на производстве; преднамеренных выбросов; ненадлежащей утилизации бытовых отходов (гербицидов и пестицидов) в карстовые воронки, поноры или септические системы; через утечки из подземных резервуаров хранения, через коллекторные системы и заражённые резервуары; из нефте- и газопроводов. Бензин и другие виды топлива, равно как и растворители (от химической чистки), сбрасываются в окружающую среду. В дополнение к загрязнению грунтовых вод некоторые из испарений могут быть ядовитыми или взрывоопасными, если они накапливаются, и могут привести к взрывам в пещерах, коллекторных системах и даже в жилых и общественных зданиях.

Аварийное реагирование на инциденты с опасными веществами в карстовых областях – очень трудная задача. На первом месте должна стоять общественная безопасность, затем – защита поверхности и подземного пространства. Восстановление должно по возможности включать локализацию и удаление любых жидких и твёрдых отходов. Опасные материалы никогда не должны смываться на поверхность, поскольку они могут привести к загрязнению частного и общественного водоснабжения, отравлению биоты пещер, накоплению взрывчатых паров в пещерах и зданиях и деградации качества воды в источниках, воздействуя на зависимые от источников экосистемы и пользователей, живущих ниже по течению. Исследование характера воздействия опасных веществ в таких областях должно быть выполнено соответствующими специалистами.

Чрезмерная откачка грунтовых вод распространена в городской застройке. Извлечение воды через тысячи общественных или частных скважин может иметь тот же эффект, как и крупный единичный забор воды, например, для шахт и промышленности. Понижение уровня грунтовых вод в городских поселениях распространено во многих регионах мира, где используются скважины; во Флориде, США, это часто включается в страхование жилья. Просадки могут произойти из-за утечки воды из труб водоснабжения или распределения сточных вод, приводя к движению почвы в направлении трещин или формированию пустот в ней, сопровождаемых обрушениями. Чрезмерная откачка грунтовых вод в городских районах может также привести к сокращению или полной потере стока из источников, которые являются важным ресурсом для расположенных вниз по течению пользователей, а также видов животных, зависимых от источников воды.



Свалка бытовых отходов в карсте, устроенная с нарушениями, Лагоа Санта (Lagoa Santa), Бразилия. Фото: Luciana Alt.

Затопление воронок при неподходящем управлении ливневым стоком может создать проблемы в карстовых областях. Строительство домов и предприятий в воронках и появление обширных площадей с непроницаемым покрытием, связанным с урбанизацией, может привести к коротким и длительным наводнениям. Неподходящие методы регулирования землепользованием могут привести к закупорке «стока» из воронок отложениями, растительностью и мусором и увеличить высоту и продолжительность наводнений.

Там, где города расположены на границах карстовых областей, застройку лучше всего направлять в некарстовые области, где развитие будет проще – с меньшими затратами и не таким сильным воздействием на окружающую среду. Просвещение общественности может этому способствовать. В Остине (Austin) и Сан-Антонио (San Antonio), Техас, США, жители, обеспокоенные состоянием карстовых водоносных слоев, проголосовали за небольшое увеличение налогов, чтобы собрать за 20-30 лет сотни миллионов долларов и выкупить большие карстовые области для защиты водоносного горизонта и вымирающих видов, а в некоторых случаях для организации там парковых зон.

Поскольку большая часть населения в мире теперь живет на урбанизированных территориях, города стали ключевыми элементами в повестке дня в области устойчивого развития. Несколько экологически безопасных инициатив и природосберегающих решений (NBS) направлены на смягчение ранее перечисленных воздействий, чтобы достичь углеродно-нейтрального (или даже углеродно-отрицательного) баланса. Эти существенные изменения должны положительно сказаться на окружающей среде карстовых районов.

Развитие и инфраструктура на охраняемых территориях

У охраняемых территорий могут быть различные уровни «охраны»: в некоторых случаях могут даже быть разрешены отдельные промышленные объекты или городская застройка, если они отвечают определенным требованиям; в других случаях это дикая местность с девственной природой. В популярных охраняемых карстовых территориях могут находиться центры для посетителей, рестораны и жильё для сотрудников, ученых и туристов. Эти объекты также оказывают разные виды воздействия, о которых было сказано ранее, поэтому они должны располагаться как можно дальше от уязвимых карстовых элементов. В национальном парке Гунунг-Мулу (Gunung Mulu), Саравак, все услуги находятся в нескольких километрах от пещер. Однако здания, расположенные близко к пещерам или непосредственно выше них и воронок, существуют на многих охраняемых территориях. На это нужно обращать внимание, поскольку зафиксированы многочисленные случаи воздействий на окружающую среду от этих структур, включая один случай прямой связи между туалетом и потоком в пещере, который был доказан экспериментом по трассированию воды.

Структуры внутри пещер обычно сооружаются по минимуму. Однако на некоторых популярных охраняемых территориях есть подземные рестораны (включая Национальный парк «Карлсбадские пещеры» и Национальный парк «Мамонтова пещера», оба в США), магазины сувениров, туалеты, амфитеатры для подземных представлений, лифты и железнодорожные пути для поездов и фуникулеров. Все эти структуры оказывают некоторое воздействие на окружающую среду и должны быть установлены только после всесторонней экологической экспертизы. Из плана управления должно быть четко ясно, оправданы ли они как средство для обеспечения комфорта (или изоляции от естественных условий) и безопасности посетителей.

Заключение

Карстовые ландшафты и люди сосуществовали с момента появления первых гоминидов, и с тех пор они живут в симбиотической связи, включающей использование и воздействие. Очень немного осталось пещер или карстовых областей, полностью свободных от какой-либо человеческой деятельности, однако в XXI веке нарастает тенденция к достижению баланса между охраной и воздействием. Устойчивость в густонаселенных карстовых областях – это трудная задача, но проекты «зеленой инфраструктуры» способствуют движению к более сбалансированному использованию экологических услуг.

Рекомендации

- (52) *Все технико-экономические обоснования для строительных проектов в карстовых областях должны включать тщательное изучение запланированного местоположения, детальную экологическую экспертизу и размер буферной зоны. Там где возможно отодвинуть проектные или городские структуры от карстовой области, это может стать экономически и экологически положительным решением.*
- (53) *Должны быть разработаны и внедрены правила, регулирующие утилизацию атмосферных, жидких и твердых отходов, произведённых во время и после строительства. Эти правила должны применяться для всей карстовой зоны, которая включает атмосферу, почву, эпикарст и верхнюю зону карстовых водоносных слоев.*
- (54) *Должны быть разработаны и приняты строительные нормы и правила для карстовых областей наподобие тех, которые действуют в отношении землетрясений или областей с паводками. Городское зонирование в карстовых областях должно учитывать специфику и хрупкость последних.*

- (55) На местном, региональном и национальном уровнях необходимо внедрить прочную научно обоснованную законодательную базу планирования.
- (56) Необходимо развивать образовательные инициативы для информирования землевладельцев или городских жителей о хрупкой природе карстовых территорий, особенно в менее развитых странах.
- (57) На охраняемых территориях инфраструктура должна быть сведена к минимуму и по возможности располагаться вдали от пещер и карстовых объектов.
- (58) Надлежащий план управления охраняемой территорией должен тщательно взвешивать все «за» и «против» возведения зданий в пределах области и стремиться к защите окружающей среды и посетителей вместо того, чтобы обеспечить лишний комфорт. Не следует поощрять крупные инфраструктурные проекты в пещерах, если их присутствие не объясняется необходимостью.
- (59) С опасными материалами следует обращаться очень осторожно и должным образом регулировать, чтобы минимизировать выбросы. Лица, принимающие первые меры реагирования после инцидентов с опасными материалами, должны быть обучены конкретным методам работы в карстовых областях.
- (60) Опасные вещества, будь это бензин или другие виды топлива, растворители, сточные воды или другие опасные отходы, никогда не должны смываться под землю. Исследование грунтовых вод и восстановление являются чрезвычайно трудными и дорогими. В максимально возможной степени опасные вещества должны быть локализованы и удалены с поверхности. Более детальные исследования потенциального воздействия на окружающую среду должны быть выполнены соответствующими профессионалами по работе в карстовых областях.

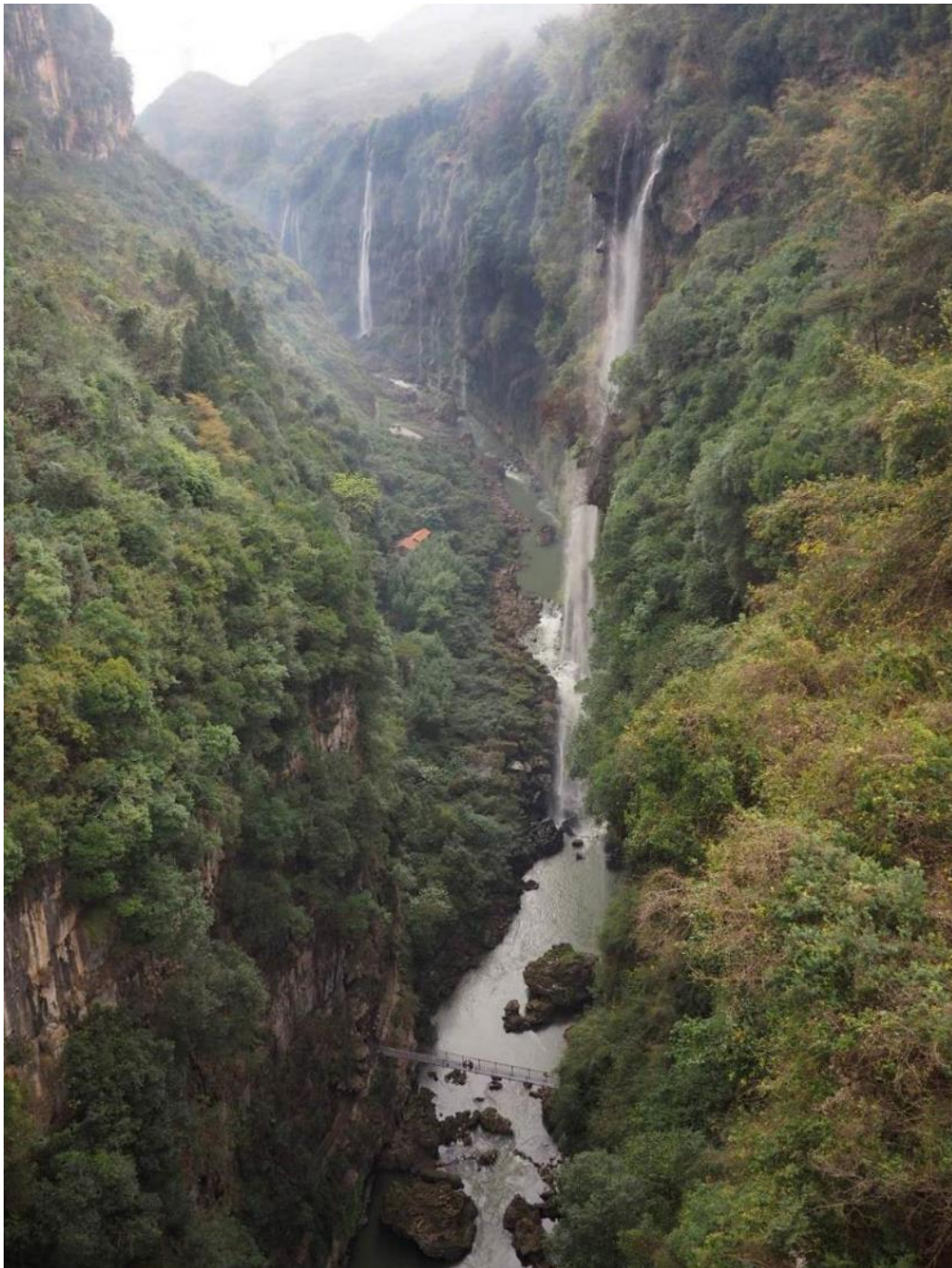
Водоснабжение

Доступ к воде играл главную роль в развитии человечества. Греки, минойцы (жители острова Крит), римляне и другие народы научились иметь дело с карстовыми водными ресурсами, при этом многие города пользовались выгодным расположением вблизи карстовых источников, используя их как источник питьевой воды или для отдыха, как, например, тёплые источники в Сиракузах на Сицилии, в Ниме (Франция) и Бате (Великобритания). В Америке культура майя в значительной степени развивалась в карстовом ландшафте, где доступ к воде можно было получить только через карстовые воронки обрушения, известные как сеноты. Одна из главных особенностей карстовых ландшафтов – то, что из-за высокой растворимости пород вода на поверхности встречается редко и стремится течь под землей. Иногда её можно найти в пещерах, но чаще всего – в родниках. Но с другой стороны, в карстовых ландшафтах часто можно найти плодородную почву (в Средиземноморье её называют terra rossa), подходящую для сельского хозяйства. Рост городов и развитие сельского хозяйства во многих частях света привели к широкому использованию карстовых родников как пригодных для питья источников воды. Карстовые родники использовались, по крайней мере, с XIX века, для производства традиционных спиртных напитков, таких, как бурбон в США и траппистское пиво в Бельгии.

Согласно Карте водоносных горизонтов карста Мира (WOKAM), 15,2% глобальной свободной ото льда поверхности континентов покрыто подверженными карстованию карбонатными породами. На 2020 г. около 1,2 млрд человек (16,5% мирового населения) жили в карстовых областях, и около 700 млн человек потребляли карстовую воду. Это число, вероятно, вырастет, что представляет угрозу устойчивому использованию карстовых водоносных горизонтов. Для эффективного использования карстовых источников воды обычно требуются инженерные решения, например бурение скважин и устройство водохранилищ. До 1986 г. во всем мире (за исключением Китая) было построено более чем 17000 дамб в карстовых областях, но во многих из них была приличная утечка воды, и водохранилища никогда не заполнялись полностью. Эти технические неудачи привели к широко распространенному поверью, что инженеры, работающие на карстовых территориях, должны всегда «быть готовыми к любым неожиданностям». Помимо роста населения, зависимость людей от карстовых источников воды, вероятно, вырастет и в результате климатических изменений, особенно в плотно населённых карстовых областях Азии, Ближнего Востока, Европы, Северной и Центральной Америки.

На карстовых территориях инфильтрация воды происходит быстро через карстовые воронки или трещины в коренной породе, хотя в областях с толстым непроницаемым слоем почвы, обычно сформированной на поверхностных отложениях, таких как лёсс или вулканический пепел, во время интенсивных ливней могут формироваться озёра. В отличие от других территорий, поток грунтовых вод в карстовых породах может быть очень быстрым, проходя через каналы или пещеры. Глубина горизонта грунтовых вод может быть разной, и в некоторых областях нет непрерывного горизонта, как это бывает в водопроницаемых породах. В плоских прибрежных равнинах, например, во Флориде (США) или на полуострове Юкатан (Мексика), грунтовые воды могут располагаться на глубине нескольких метров под землей, то есть доступ к ним сравнительно простой. Однако в горных карстовых областях вадозная зона обычно имеет толщину несколько сотен метров – это исключает свободный доступ к грунтовым водам и требует нестандартных решений.

Чрезмерная эксплуатация карстовых вод происходит во многих регионах мира и приводит к понижению уровня грунтовых вод. Это несет серьезные последствия для водных экосистем в карстовых областях, вплоть до пересыхания родников и рек в пещерах.



Высоко расположенные карстовые источники в ущелье Малинге (Malinghe), область Гуйчжоу, Китай. Фото: John Gunn.

Понижение на нескольких десятков метров наблюдалось во многих карстовых областях из-за скважин, используемых как для коммунального водоснабжения, так и для промышленности. Чрезмерная откачка карстовых грунтовых вод может быть точечной, как в случае шахт и карьеров, которым для работы требуется значительное осушение, но чаще всего понижение горизонта грунтовых вод происходит через откачку воды из нескольких скважин – как для коммунального потребления, так и для ирригации. Пещеры и пустоты ниже горизонта грунтовых вод (фреатическая зона) частично остаются стабильными из-за того, что их заполняет вода. Но если это заполнение иссякнет из-за чрезмерной откачки, может произойти обрушение. Дальнейшее воздействие, связанное с пониженным уровнем воды, происходит, когда контакт между почвой и карстовым основанием (известным как эпикарстовая зона) расположен выше горизонта грунтовых вод. Это приводит к гравитационному проникновению почвы в увеличенные трещины и появлению временных пустот внутри почвы. Обрушение этих пустот приводит к образованию воронок, часто встречающихся в карстовых областях и подверженных интенсивному обезвоживанию. Чрезмерная откачка пресноводных ресурсов в пустынях, на островах или в прибрежных карстовых областях может также привести к вторжению морской воды в водоносный горизонт. Брошенные, неправильно сооруженные или обслуживаемые скважины могут также стать каналом для проникновения поверхностного загрязнения под землю и в результате привести к загрязнению грунтовых вод.

Наводнения происходят в некоторых карстовых областях, обычно связанных с урбанизацией. В большинстве городов грунт покрывают непроницаемые поверхности, а значит, естественное проникновение воды сильно сокращено и сосредоточено в нескольких местах стока, а вода просачивается к горизонту грунтовых вод. Объем такой воды иногда превышает пропускную способность этих стоковых систем, приводя к крупным наводнениям, как, например, часто случается в урбанизированных карстовых областях Кентукки, США. Наводнения, вероятно, увеличатся из-за катастрофических событий, связанных с изменением климата, создавая дополнительные трудности для карстовых областей, так как искусственные структуры стока, как и пещерные каналы, возможно, будут не в состоянии справиться с большими объемами воды. Воронки может также затапливать не водой, текущей в них сверху, а из-за повышения уровня воды снизу, где большие объемы сбрасывались в более высоко расположенные воронки и проникали в более низкие районы через пещеры и каналы.



Паводковая вода, вытекающая из пещеры Марбл Арч (Marble Arch), Фермана (Fermanagh), Великобритания, в трансграничном Глобальном геопарке ЮНЕСКО Куилках Лейклендс (Cuilcagh Lakelands). Фото: John Gunn.

За исключением карстовых областей с мощным слоем поверхностных отложений, поглощение и течение воды по карстовым каналам обычно в десятки раз быстрее, чем в большинстве систем грунтовых вод. Карстовые грунтовые воды имеют ограниченную естественную абсорбцию и фильтрацию, а значит, любое загрязнение от сельского хозяйства (например, нитраты), промышленности или аварийных разливов могут легко достичь горизонта грунтовых вод и быстро распространиться на большие расстояния через каналы. Это делает загрязнение карстовой воды очень сложным для оценки и смягчения последствий. Загрязнение может неблагоприятно повлиять на экосистему, связанную с карстовыми водоносными горизонтами, угрожая пещерной биоте. Неисправные канализационные септики или даже полное отсутствие системы утилизации канализационных вод распространены во многих карстовых областях мира, увеличивая потенциал для загрязнения болезнетворными микроорганизмами. Различные химикаты и все виды мусора могут попасть в карстовые водоносные слои. В некоторых областях распространенный подход «с глаз долой из сердца вон» привёл к тому, что люди сваливают мусор в карстовые воронки и пещеры. Некоторые пещерные реки в городских областях подверглись сильному загрязнению, поскольку представляли собой «естественные» коллекторы. Потребовались значительные усилия по очистке таких рек, как Хидден Ривер (Hidden River) в пещере Хорс (Horse) и Лост Ривер (Lost River) в Боулинг Грин (Bowling Green), обе в Кентукки, США.

Сведение лесов для сельского хозяйства и пастбищ или засухи, вызванные изменением климата, могут удалить защитное покрытие растительности и вызвать эрозию почвы. Это может привести к закупорке дна карстовых воронок или заболачиванию, а затем к наводнениям. Дополнительное воздействие – заиливание поверхности и дренажа пещер, которое иногда блокирует галереи и вызывает намыв отложений в пещерах. Отсутствие корректного управления водосборными бассейнами карстовых пещер часто приводит к воздействию на гидрологический цикл. Изменения в

использовании земель выше пещер могут вызвать проникновение почвы в пути просачивания, влияя на цвет и целостность натёков. Это особенно важно для экскурсионных пещер, в которых терригенные отложения могут изменить цвет пещерных натёков, которые обычно белые.

Некоторые из ранее упомянутых влияний на окружающую среду происходят благодаря кратковременным точечным воздействиям, таким как случайное загрязнение химикатами. Но другие виды воздействий могут длиться несколько лет или десятилетий, как, например, загрязнения из-за урбанизации, промышленности или чрезмерной откачки воды. Дальнейшее воздействие связано с изменением климата, которое, как это ни парадоксально, может затронуть водный бюджет карстовых областей, усиливая дефицит влаги из-за засухи или увеличивая возможность затопления из-за рекордных осадков. Обе ситуации становятся все более частыми во всем мире. Карстовые области Мексики, Карибского бассейна и Южной Флориды, например, подвергаются частым ураганам, в то время как в засушливых регионах падает расход потоков в пещерах. Эффекты изменения климата часто накладываются на другие факторы, увеличивая их воздействие. Растущий из-за климатических изменений уровень океана теперь может гораздо больше воздействовать на карстовые водоносные слои, поскольку каналы открывают пути морской воде для течения внутрь континента, таким образом, увеличивая солёность грунтовых вод.

Кроме того, некоторые карстовые области пересекают международные границы, например, на Балканах и в других частях Европы, а также в Юго-Восточной Азии. Управление карстовыми ресурсами может нуждаться в международном сотрудничестве для решения конфликтов по управлению ресурсами вообще и грунтовыми водами в частности.

Рекомендации

- (61) Необходимо обозначить буферные зоны для карстовых водных источников, таких как родники, скважины и пещеры. На охраняемых территориях должны быть разработаны правила для сельскохозяйственных работ с правильным использованием удобрений и контролем откачки воды. Было разработано несколько планов создания защитных зон вокруг родников, но применение они нашли только в Европе и США.
- (62) Образовательные инициативы должны быть направлены на повышение осведомлённости землевладельцев и обычных граждан относительно специфики карстовых ландшафтов и понимание последствий нарушения правил утилизации твердых, санитарных и опасных отходов.
- (63) Понятная система мониторинга должна быть установлена на главных водных источниках и некоторых скважинах в особо уязвимых и активно используемых системах карстовых грунтовых вод. Во многих местах теперь можно и необходимо внедрить системы дистанционного мониторинга с длительным сроком работы и высокой разрешающей способностью.
- (64) Государства должны рассматривать карстовую воду как хрупкий и исчерпаемый ресурс, и принимать законы для управления и ограничения использования такой воды, а так же выделять финансирование для быстрого устранения последствий загрязнений. В частности, должны быть подготовлены рекомендации по правильному проектированию и созданию канализационных накопителей и местоположению свалок.
- (65) Поскольку о влиянии многих загрязнителей на карстовый ландшафт известно очень мало, необходимо выделить достаточное финансирование для научных исследований в этой области.

Управление охраняемыми карстовыми территориями

Развитие эффективного мониторинга и уменьшение последствий

Принципы мониторинга

Мониторинг – важнейший инструмент в управлении и охране пещер и карстовых ресурсов, особенно на охраняемых природных территориях. Показатели и параметры для мониторинга выбираются так, чтобы обеспечить надежную информацию о текущем состоянии пещеры и карстовых ресурсов, которые можно сравнить с «фоновыми» условиями перед внедрением управления, а еще лучше – до вмешательства человека в «жизнь» пещеры. Для экскурсионных пещер с продолжительной историей развития можно использовать соседнюю необорудованную пещеру как «фоновую», если есть такая возможность. Кроме того, у многих экскурсионных пещер, которые закрывались в 2020-2021 гг. из-за пандемии Covid-19 и в которых мониторинг продолжался с использованием автоматических датчиков, полученные данные обеспечивают приближение к естественным условиям. Мониторинг показывает изменения в состоянии пещеры в течение длительного времени, учитывая как воздействия, так и улучшения, и таким образом показывает эффективность управления. Данные непрерывного мониторинга могут использоваться для анализа управления и смягчения последствий (адаптивное управление).

В идеале, программа мониторинга для пещер и карстовых территорий должна быть всесторонней и включать абиотические ресурсы, такие как вода, воздух и почва, геологические и геоморфологические объекты, а также биогенные ресурсы: фауну, флору, среду обитания и экосистемы. Однако у организаций, управляющих охраняемыми территориями, часто недостаточно финансирования, чтобы поддерживать такую всестороннюю программу мониторинга. Поэтому усилия по управлению природными объектами должны быть распределены в приоритетном порядке, учитывая их ценность, значение, уязвимость, недолговечность и серьёзность фактических или потенциальных угроз (естественных или антропогенных). Важно составить список главных объектов пещеры и привязать их к карте (если таковая существует) – это поможет разделить пещеру на определенные зоны для удобства мониторинга. В этом могут помочь GIS-технологии. Мониторинг в пещерах должен включать территорию, окружающую пещеру, так как внешние воздействия могут затронуть динамику пещерной системы.

После определения приоритетности ресурсов, подлежащих мониторингу, необходимо выбрать соответствующие индикаторы. Критерии для выбора индикаторов включают их актуальность и научную важность, выполнимость, незначительное влияние самих измерений на показатели и низкую стоимость. Индикаторы, возможно, должны иметь привязку к экологическим нормам и законам в случае судебных разбирательств. Показатели и методы мониторинга должны быть подобраны так, чтобы они могли быть понятны и выполнимы обучаемыми сотрудниками, где это возможно, чтобы минимизировать потребность в привлечении внешних специалистов. Как правило, лучше отслеживать индикатор, который прост и дешев для измерений на многих участках, чем один сложный и дорогой, но поддающийся измерению только на одном или двух участках. Измерение испарения из большого числа открытых чашек Петри в разных частях пещеры, например, может дать более полную картину проблем с высыханием, чем гидротермограф, расположенный в одном месте.

Для мониторинга также важны повторяемость, частота и стоимость. Постоянный мониторинг одного основного индикатора предпочтительнее, чем случайный мониторинг многих индикаторов. Мониторинг ключевых показателей или на ключевых участках должен проводиться с частотой, необходимой для оценки эффективности управления и уменьшения воздействий. Однако высокой частоты мониторинга на хрупких участках пещер нужно по возможности избегать, потому что это может привести к отрицательным последствиям. По возможности следует предпочесть автоматизированный мониторинг. Должны быть подготовлены протоколы для мониторинга каждого индикатора.

Примеры успешного опыта в мониторинге

Качество и количество воды

Исчезающие потоки и карстовые воронки, которые обеспечивают точечное поглощение (участки входа), а также водные источники и скважины (участки выхода) должны использоваться как точки мониторинга качества и количества воды в карстовых областях. Если позволяют ресурсы, следует проводить непрерывный и событийный мониторинг. Доступны относительно недорогие устройства регистрации данных для непрерывных измерений основных параметров, включая глубину воды (которая может быть пересчитана в показатель расхода, если построена кривая зависимости), температуру, растворённый кислород, электропроводность (показатель минерализации воды) и мутность (показатель количества взвешенных частиц). Другие параметры, такие как биогенные вещества, металлы, углеводороды, органические загрязнители и бактерии, более подходят для событийного мониторинга, поскольку они обычно требуют наличия специализированных лабораторий и недешевы в измерении. Концентрации разных показателей в воде являются обычно самыми высокими во время межени, что может представлять определённую угрозу водным организмам, но именно во время ливней и паводков транспортируется самое большое количество (концентрация, умноженная на расход) загрязнителей и отложений. Более общую оценку состояния водных потоков в пещерах и на поверхности можно получить, проводя мониторинг биологических индикаторов, которые показывают качество воды, например, подсчет видов с высокой чувствительностью к загрязнению, таких как водные макробеспозвоночные (насекомые, черви, улитки, ракообразные) или определенные виды рыб.

Состояние растительности

На охраняемых карстовых территориях часто главной задачей является сохранение и поддержка эндемичной растительности. С помощью мониторинга состояния растительности можно оценить, насколько эффективно выполняются задачи управления. Есть два главных подхода к мониторингу состояния растительности: оценка на местности и дистанционный контроль. Оценка на местности для измерений в лесу, а также учета углеродных выбросов может использоваться на большом количестве участков силами лесников и землевладельцев. Дистанционный мониторинг всё шире используется для контроля состояния растительности в силу возможности его применения на большом количестве участков, автоматизации и повторяемости измерений. Он подходит для обнаружения изменений в состоянии растительности. С помощью дистанционного мониторинга можно получить ряд показателей экологии растений, например, показатель фотосинтетической активности растительного покрова (NDRE). Вторжение кустарников можно оценить с помощью измерения интенсивности зеленого цвета растительного покрова.

Атмосфера пещер

Мониторинг климата и атмосферы в туристических пещерах часто выполняется с помощью автоматических метеостанций с электронными датчиками и записывающими устройствами. Эти станции должны быть расположены на ключевых или особо чувствительных участках. Измеряемые индикаторы включают атмосферное давление, температуру, влажность, содержание CO₂, скорость ветра и испарение. Часто необходимо измерение концентрации радона в целях охраны здоровья и безопасности в экскурсионных пещерах. Задача этих измерений – поддерживать атмосферные условия настолько близко к естественным значениям, насколько это возможно, либо быстро восстанавливать эти условия после посещений туристами.

Пещерная фауна

Мониторинг присутствия и численности пещерной фауны необходим в тех пещерах, где такой фауны много, особенно редких и эндемичных видов. Индикаторными видами для мониторинга могут быть троглобионты или стигобионты, которые часто являются эндемичными и самыми уязвимыми видами. Однако, «ключевые» виды, такие как летучие мыши, стрижи и пещерные кузнечики, также необходимо отслеживать из-за их важности в обеспечении пищи, от которой зависят другие организмы. Идеально было бы отобрать в качестве индикаторов «ключевые» виды, которых в пещере много и они распространены повсюду. Некоторые троглобионты, такие как коллембола, могут быть полезными индикаторами дисбаланса питательных веществ в пещерных системах.

Натёки и отложения

Натёки и отложения часто испытывают непосредственное воздействие посетителей диких пещер, а в экскурсионных пещерах на них может развиваться лампенфлора. Фотомониторинг – эффективный способ фиксации состояния натёков и воздействия на них. Выбирая натёки и отложения для фотомониторинга, важно учитывать их научную или эстетическую ценность, либо их положение в уязвимом месте, таком как близость к дорожке в пещере. Фотомониторинг включает фотографирование отобранных натёков или отложений из фиксированного положения стационарной камерой и с такими настройками света, чтобы фотографии могли повторяться и сравниваться в течение длительного времени для оценки воздействия посетителей. Фотомониторинг должен проводиться с частотой, соответствующей численности посетителей и их потенциальному воздействию. Интервал мониторинга раз в год может быть достаточным для многих экскурсионных пещер. Новые методы, такие как лазерное сканирование (лидар), очень перспективны для мониторинга. Лидар создает детальное трехмерное изображение пещеры и может использоваться как основа для обнаружения изменений в натёках или отложениях, равно как и других антропогенных изменений в окружающей среде пещер. Тот же самый подход может быть применён на поверхности с помощью бортового авиационного лидара.

Изменение климата и чрезвычайные события

Последствия изменения климата уже очевидны и станут еще чувствительнее для многих карстовых областей. Рост количества чрезвычайных событий, таких как наводнения, засухи и пожары, – самое сложное для оценки и прогноза последствий изменения климата. Мониторинг метеорологических и гидрологических параметров, таких как температура воздуха, осадки, температура пресной воды, расход воды в реках и источниках, уровень воды в озёрах и изменение уровня грунтовых вод, необходим для оценки последствий изменений климата и реакции на них. Постепенное увеличение температуры воздуха со временем и чрезвычайные температурные события (волны тепла) обычно запаздывают и затухают в окружающей среде пещер. Напротив, воздействие чрезвычайных гидрологических событий, таких как наводнения и засухи, быстро передаются с поверхности в подземную окружающую среду пещер в карстовых гидрологических системах. Мониторинг этих параметров – основа для развития системы раннего оповещения о чрезвычайных событиях, таких как наводнения и пожары. Кроме того, могут быть выявлены биологические и экологические индикаторы изменения климата, например, изменение времени фенологических событий, таких как распускание почек и цветение растений, изменения во времени и маршрутах миграций птиц и летучих мышей.

Смягчение последствий

Если по результатам мониторинга обнаружены угрозы или воздействие на важные ресурсы пещеры или карста, управление должно быть направлено на смягчение дальнейшего ущерба. Есть различные стратегии для предотвращения угроз или воздействия посетителей, включая ограничение доступа к уязвимым участкам (зонирование), сокращение количества посетителей и частоты посещений, маркировка маршрутов в диких пещерах, создание пешеходных дорожек с ограждением и обязательное сопровождение посетителей гидами.

Если произошло негативное воздействие на пещерные ресурсы, требуется грамотное управление для восстановления поврежденных объектов. Есть множество методов для восстановления пещерных галерей и натёков, удаления надписей на стенах, мусора, пыли и лампенфлоры (см. [Экскурсионные пещеры](#)).

Часто карьерные работы оказывают воздействие на подземную среду. Восстановление поверхностного карста после таких работ может быть дорогостоящим и трудоёмким. Главная проблема – воссоздание целостности подземного

дренажа, качества воды и биологии пещер. Вторичная цель должна состоять в том, чтобы сохранить в карьере высокую степень взаимосвязанной вторичной пористости для эффективного поглощения и в максимально возможной степени поддерживать первоначальный карстовый дренаж и растительный покров.



Восстановленный через 20 лет после закрытия известняковый карьер, объект Всемирного наследия «Дикая природа Тасмании». Во время восстановления карьер был разделён на несколько мелких закрытых дренажных бассейнов. Зоны поглощения были защищены фильтрующей конструкцией, и области под глиняным чехлом имели дополнительные конструкции, ограничивающие движение отложений после дождя. Далее планируется гидромульчирование и осторожное восстановление растительности. Фото: David Gillieson.

Базовые рекомендации для восстановления карстовых территорий:

- Поддерживайте или восстанавливайте естественные системы и процессы, насколько это возможно. Если требуется вмешательство, отдавайте предпочтение природосберегающим решениям, основанным на естественных процессах, по сравнению с техническими решениями, направленными на их торможение или регулирование. Например, для карстовых систем важна поддержка или восстановление естественных режимов рек, ручьёв и источников. Также крайне важно восстановить просачивание воды и поглощение грунтовых вод там, где почва или отложения, залегающие поверх карстовых, были уплотнены.
- Исключите все источники загрязнения, как на поверхности, так и под землей. Для этого может потребоваться регулирование землепользования или другие действия на территориях, лежащих выше по течению от пещер или карстовых областей, изъятие загрязнённых отложений, воды или отложений из пещер, биологическое восстановление с использованием микроорганизмов или растений. Это дорогостоящий процесс, и часть расходов могут взять на себя государственные органы, ответственные за экологическое управление.
- Контролируйте активную эрозию почвы и предотвращайте поступления отложений в подземную карстовую систему. Может потребоваться восстановление растительности, стабилизация крутых склонов или сооружение контурных валов.
- Ограничьте интенсивное использование грунтовых вод (например, для сельского хозяйства) на территориях выше по течению от карстовых областей, поскольку это понижает горизонт грунтовых вод и может уменьшить разгрузку подземных рек и отразиться на водной фауне пещер.
- Развивайте активную почвенную экосистему. Беспозвоночные, такие как земляные черви, муравьи и термиты эффективно разрушают органический материал, перемешивают рыхлые отложения, улучшают структуры почвы и её питательный статус.
- Поддерживайте устойчивый растительный покров, состоящий предпочтительно из местных растений. Постоянная растительность помогает бороться с эрозией почвы, увеличивает её биологическую активность и положительно влияет на эстетическое восприятие. Однако растительность также воздействует на концентрацию углекислого газа в почве и использование воды, сокращая поглощение. Вследствие этого могут возникнуть непреднамеренные воздействия на рост натёков в пещерах.

- Наблюдайте за изменениями на поверхности и под землей. Регулярное измерение параметров воды в карстовых системах может многое сказать об эффективности восстановления пещерной среды. Сбор образцов нужно привязывать к событию, во время которого вследствие ливней увеличивается транспортировка отложений и растворённых веществ.
- Если ничего не получается, возьмите паузу. Есть большое искушение вмешаться в процесс восстановления, если изменения происходят очень медленно. Восстановление растительности может быть оценено минимум через 2 года, когда произошли достаточное укоренение и рост. Для многих карстовых областей, особенно там, где биологические процессы ограничены климатическими условиями, период для восстановления может измеряться десятилетиями.

Рекомендации

- (66) *Мониторинг – важный инструмент в управлении и охране пещер и карстовых ресурсов, особенно в охраняемых областях. Результаты непрерывного мониторинга могут использоваться для анализа управления и смягчения последствий.*
- (67) *Приоритет в мониторинге должен быть отдан природным ресурсам с наибольшей ценностью, значением и уязвимостью, а также учитывая степень серьезности предполагаемых и фактических угроз или воздействий.*
- (68) *Загрязнение грунтовых вод вызывает целый ряд проблем в карстовой области, поэтому усилия должны быть направлены на минимизацию и контроль этого процесса. Такой мониторинг должен быть не регулярным, а событийным, поскольку концентрация растворов и химических загрязнителей обычно самая высокая во время межени, однако, именно во время ливней и наводнений больше всего загрязняющих веществ транспортируется через карстовую систему.*
- (69) *Необходимо избегать слишком частого мониторинга в уязвимых областях, если только это не вызвано критической необходимостью. Такой частый мониторинг может привести к разрушительным воздействиям. Если возможно, следует применить автоматизированный мониторинг.*
- (70) *Признавая исчерпаемость природных ресурсов многих карстовых объектов, особенно пещер, грамотное управление должно стремиться восстановить поврежденные объекты до первоначального состояния.*
- (71) *В максимально возможной степени естественные системы и процессы в карстовых областях должны поддерживаться и восстанавливаться. Если требуется вмешательство, отдайте предпочтение природосберегающим решениям, основанным на природных процессах, а не техническим решениям.*

Планирование управления охраняемой карстовой территорией

Планирование управления охраняемой территорией – ключевой элемент, помогающий определить и достичь идеальных условий, а также гарантирующий целенаправленное использование финансовых, человеческих и других ресурсов охраняемой территории. Составление управленческого плана – важный этап, в который вовлекаются различные правительственные учреждения и другие игроки, у которых свои интересы и обязательства в отношении охраняемой территории и её ближайших окрестностей. Планы управления должны представлять собой лаконичные документы, в которых обозначены главные объекты или ценности охраняемой территории, ясно указаны управленческие цели, которые необходимо достичь, и перечислены действия, направленные на защиту ценностей охраняемой территории.

Чтобы повысить эффективность управления карстовой системой, планирование управления охраняемыми карстовыми территориями должно учитывать их особую природу. Подробнее об этом описано в разделе [«Особая природа карстовых территорий и пещерных систем»](#), а ключевые пункты следующие:

- Целостность карстовой территории зависит от поддержки естественной гидрологической системы. Поэтому карстовым ландшафтам необходимо регулирование стока с водосборов. Ключевые вопросы в управлении всеми карстовыми областями – защита карстовых воронок или областей распространения трещин (которые обеспечивают точечное поглощение воды) и качественное управление аллогенными водными потоками. Гидрогеологическая карта – важный инструмент для управления охраняемой карстовой территорией; на ней обозначены водосборные бассейны, требующие управления и защиты.
- Карстовые экосистемы хрупки и уязвимы – условия окружающей среды на поверхности могут быть экстремальными (засушливые, известковые), и в тех областях, где нет никаких поверхностных аллогенных отложений, почвы обычно тонкие, каменистые и легко разрушаемые. Подземная экосистема особенно чувствительна, так как, прежде всего, зависит от потоков энергии, передаваемых с поверхности водой, качество которой критически важно для выживания биоты.
- Карстовые системы необычайно сложны, потому что они включают поверхностные и подземные процессы и объекты как физические, так и биологические. Из-за высокой степени взаимосвязанности карстовых экосистем

прямое воздействие на единичный элемент карстовой экосистемы может иметь серьезные косвенные последствия для других элементов или всей карстовой экосистемы. Таким образом, требуется комплексный подход для охраны карстовых природных ресурсов и биологического разнообразия.

Практика планирования управления включает в себя последовательность шагов, направленных на структурирование процесса и его логическую связность. Поскольку требуемая степень защиты и управления не одинакова для различных категорий охраняемых территорий, структура плана управления должна быть гибкой для удовлетворения различных потребностей. Частные охраняемые территории могут, например, не привлекать внешних партнеров к планированию управления или вообще не требовать плана управления. Если время или ресурсы не позволяют разработать полный план управления, более простой и сокращенный план лучше, чем полное его отсутствие. Такой план управления будет проще, быстрее и дешевле разработать и внедрить. Детальность и сложность могут изменяться постепенно по мере обновления плана управления и увеличения объема доступных ресурсов.

Инструкция по планированию управления охраняемой территорией (Thomas and Middleton, 2003)

1. *Фаза предварительного планирования.* На этом этапе определяется, что должно быть результатом процесса планирования, как он будет выполнен, в какие сроки, кто будет вовлечен и сколько потребуется на это средств. Рекомендуется междисциплинарный и всесторонний подход, объединяющий экспертов и все заинтересованные стороны, включая местные сообщества, для обсуждения будущего управления охраняемой территорией.
2. *Сбор данных, предварительные камеральные и полевые исследования.* В качестве первого шага соберите существующую информацию, поскольку исторические страноведческие данные очень ценны. Затем, если нужно, проведите полевую проверку и исследования, чтобы проверить существующую информацию и обновить её. Собранные данные оформите в виде описания охраняемой территории.

Для охраняемой карстовой территории рекомендации по сбору информации предоставлено в следующих разделах: «Значение карстовых ландшафтов и пещер», «Особая природа карстовых территорий и пещерных систем», «Рекреационное и приключенческое посещение пещер», «Научные исследования», «Сельское и лесное хозяйство», «Водоснабжение», и «Коренные народы и управление карстовой территорией».

3. *Оценка собранных данных.* На этом этапе определяются главные объекты и особые ценности, которые требуют защиты и сохранения для поддержания значения охраняемой территории. Поскольку все чаще к процессу планирования привлекаются местные жители и другие заинтересованные стороны, важно разработать механизм, с помощью которого можно определить и описать присущие им природные, культурные и социально-экономические ценности, связанные с охраняемой территорией. Разработка «декларации значимости» объясняет важность охраняемой территории для общества в региональном, национальном и международном контексте. Ключевые особенности, исключительные ценности и декларация значимости – это основа, на которой должен строиться план управления.

Для охраняемых карстовых территорий рекомендации для идентификации ключевых объектов и исключительных ценностей представлены в следующих разделах: «Значение карстовых ландшафтов и пещер», «Особая природа карстовых территорий и пещерных систем», «Рекреационное и приключенческое посещение пещер», «Научные исследования», «Сельское и лесное хозяйство», «Водоснабжение» и «Коренные народы и управление карстовой территорией».

4. *Выявление ограничений, угроз и возможностей.* Прежде чем определить специфические цели управления для охраняемой территории, должны быть выявлены ограничивающие факторы управления и любые серьезные угрозы ценностям этой области. Некоторые ограничения могут быть связаны непосредственно с окружающей средой, например, уязвимая и хрупкая природа карстовых экосистем. Угрозы охраняемой территории могут быть естественными или вызванными человеком, а их источник может быть как внутри охраняемой территории, так и за её пределами. Должны также быть определены возможности для позитивных изменений, исправления последствий нарушений или восстановления охраняемой области.

Для карстовых охраняемых территорий рекомендации для определения ограничений, угроз и возможностей предоставлены в главах: «Значение карстовых ландшафтов и пещер», «Особая природа карстовых территорий и пещерных систем», «Рекреационное и приключенческое посещение пещер», «Научные исследования», «Сельское и лесное хозяйство», «Водоснабжение», и «Развитие эффективного мониторинга и уменьшения последствий».

5. *Разработка концепций и целей управления.* В процессе планирования управления следует разработать и ясно сформулировать концепцию управления, которая описывала бы идеальные условия, состояние или внешний вид охраняемой области в будущем. Исходя из этой концепции, должны быть выработаны цели, представляющие собой более определенные заявления о намерениях, определяющие условия, к которому должно привести управление. Цели должны касаться главных объектов охраняемой территории (определяя то, как они будут сохранены) и других важных вопросов управления, таких как совместное управление, обучение и информирование персонала.

Для охраняемых карстовых территорий рекомендации по разработке концепции и целей управления предоставлено в разделах: «Значение карстовых ландшафтов и пещер», «Особая природа карстовых территорий и пещерных систем», «Масштабы управления в карстовых областях», «Рекреационное и приключенческое посещение пещер», «Экскурсионные пещеры», «Сельское и лесное хозяйство», «Водоснабжение», «Развитие эффективного мониторинга и уменьшение последствий» и «Коренные народы и управление карстовой территорией».

6. *Определение и оценка вариантов управления, включая зонирование.* Когда цели управления установлены, нужно определить пути их достижения. Для этого разрабатывается диапазон вариантов управленческих мероприятий и выбираются наиболее приемлемые варианты. Зонирование – широко используемый инструмент для достижения целей управления. В различных зонах может быть разный набор стратегий управления и эксплуатации, в наибольшей степени отвечающей целям охраняемой территории. Зонирование может использоваться для мероприятий по защите самых уязвимых сред обитания и участков, таких как поглощения потоков, пещеры и родники. Пример эффективного зонирования – классификация пещер в охраняемой карстовой территории для присвоения им различных уровней защиты и эксплуатации.

Для охраняемых карстовых территорий рекомендации по выработке вариантов управления предоставлены в разделах: «Значение карстовых ландшафтов и пещер», «Особая природа карстовых территорий и пещерных систем», «Масштабы управления в карстовых областях», «Рекреационное и приключенческое посещение пещер», «Экскурсионные пещеры», «Сельское и лесное хозяйство», «Водоснабжение», «Развитие эффективного мониторинга и уменьшение последствий» и «Коренные народы и управление карстовой территорией».

7. *Подготовка предварительного плана управления.* Интеграция всех вышеупомянутых элементов планирования в единый документ приведёт к появлению предварительного плана управления. Хотя нет стандартного формата для таких планов, они содержат определенные элементы. Предварительные планы управления начинаются со знакомства с охраняемой областью, затем идёт перечисление её ценностей и факторов влияния, формулировка общих представлений о её будущем управлении; и, наконец, перечисляются пути достижения поставленных целей и методы оценки эффективности плана в течение периода его воплощения.

Основной формат для предварительных планов управления охраняемой территорией предоставлен в главе: «Основные элементы плана управления».

8. *Общественное обсуждение предварительного плана управления.* Возможность рассмотреть и прокомментировать предварительный план управления со стороны широкой общественности и заинтересованных лиц – важный шаг в процессе планирования управления. В их число входят местные сообщества, местные органы власти, представители неправительственных организаций, коммерческие компании, ассоциации потребителей, сотрудники охраняемой территории и другие заинтересованные лица. В результате у всех этих людей появляется чувство причастности к реализации плана управления и большой уровень вовлечённости. Уровень вовлечённости может быть разным: от чисто информативного с обратной связью до активной причастности к совместному управлению охраняемой территорией.

Для охраняемых карстовых территорий рекомендации по общественному обсуждению и причастности сообществ предоставлено в разделе: «Коренные народы и управление карстовой территорией».

9. *Доработка предварительного плана и подготовка заключительного плана управления.* Этот этап включает доработку плана управления, принимая во внимание комментарии, полученные от заинтересованных лиц и общественности. Нужно рассмотреть все письменные комментарии, а также обратную связь в результате встреч с общественностью. Может быть полезным включить в финальный план управления отчет о таких консультациях, где было бы указано, как на его составление повлияли полученные комментарии, и почему не вся обратная связь была принята во внимание. Это поможет заинтересованным лицам и общественности разобраться в финальной версии плана и понять, каким образом были выбраны те или иные действия.
10. *Одобрение плана управления.* Это процедурный этап, суть которого в одобрении финального плана соответствующим органом. Процедуры отличаются от страны к стране, но в большинстве случаев это формальный процесс утверждения или одобрения плана со стороны чиновников.
11. *Воплощение плана управления.* План управления содержит определённые действия для достижения целей в соответствии с концепцией охраняемой территории. Часто план управления становится основой для подготовки ежегодных оперативных планов для охраняемой территории. Там, где планируется совместная система управления, план управления должен определить роли и обязанности различных заинтересованных сторон в осуществлении управления.
12. *Мониторинг и оценка.* В процессе воплощения плана управления параллельно должны производиться мониторинг и оценка поступления обратной связи для руководства. Цели этого этапа состоят в том, чтобы: 1) проверить, осуществляется ли план управления эффективно, и выполняются ли цели, 2) делать выводы о том, как влияет управление на окружающую среду, и 3) соответствующим образом адаптировать управленческие

действия. Там, где выполнение плана сталкивается с проблемами, можно использовать мониторинг и оценку для перераспределения ресурсов и усилий для повышения эффективности.

Для охраняемых карстовых территорий рекомендации по мониторингу и оценке предоставлены в разделе «Развитии эффективного мониторинга и уменьшение последствий».

13. *Решение рассмотреть и обновить план управления.* Заключительным шагом в процессе планирования является принятие решения о пересмотре или обновлении плана управления. Важно обеспечить, чтобы обратная связь от мониторинга и оценки использовалась для разработки обновленного плана. Рекомендовано обновлять планы управления не реже, чем один раз в десять лет. Во многих случаях план управления будет ограничен временем в соответствии с законодательством, обычно пятью или десятью годами. Идеально, если решение обновить план управления принимается заблаговременно, чтобы новый план был разработан до того, как кончится действие старого.



Схема процесса управления в объекте Всемирного наследия «Дикая природа Тасмании», Австралия.

Основные элементы плана управления

Аннотация. Общие положения плана управления, изложенные в кратком виде – для быстрого ознакомления без погружения в подробности. Полезно для руководителей высокого уровня, у которых, возможно, нет времени для прочтения всего документа.

Введение. Формулирует цель и задачи плана, а также содержит информацию об охраняемой территории: основание для её выделения, текущий статус и полномочия для разработки плана. Введение может содержать часть основной итоговой информации об охраняемой территории, такой как её местоположение, размер, первичные ресурсы и ценности.

Описание охраняемой территории. Здесь собрана вся информация, описывающая ресурсы в пределах и вокруг охраняемой территории, такие как:

- Исторические – информация об участке и его предыдущем использовании и управлении.
- Биологические – сообщества, среды обитания, флора и фауна.
- Физические – климат, гидрология, геология, геоморфология и почвы.
- Культурные и эстетические – ландшафтные объекты, археология и культурные ассоциации.
- Социально-экономические – демография коренных сообществ и современное использование ими природных ресурсов охраняемой области.

Оценка охраняемой территории. Выявляет главные объекты и исключительные ценности, которые должны быть защищены и сохранены, чтобы поддержать значение охраняемой территории:

- Выдающиеся примеры естественных, культурных, научных и региональных ценностей, включая важные пещеры и другие карстовые объекты.
- Редкая и местная флора и фауна, как поверхностная, так и подземная.
- Археологические, исторические или культурные участки, как на поверхности, так и под землёй.
- Области и ресурсы, жизненно важные для коренных сообществ как экономически, так и культурно.
- Места и территории, важные для защиты целостности охраняемой области в целом, такие как поглощения потоков, родники и водосборные бассейны вверх по течению от охраняемой территории.

Анализ ограничений, угроз и возможностей. Анализ ограничений, угроз и возможностей, затрагивающих охраняемую территорию, её защиту и управление. Следует указать любые текущие или предыдущие воздействия на главные объекты и ценности территории, наряду с любыми другими особенностями управления.

- Ограничения – такие как управление районами охвата обслуживанием вверх по течению от границы охраняемой территории.
- Угрозы – такие как незаконная охота или сбор редких или местных животных и растений, воровство или изъятие натёков или полезных ископаемых пещер, ограбление или разрушение археологических или культурных участков, воздействия от изменения климата и чрезвычайных событий, таких как наводнения и пожары.
- Возможности – такие как удаление источников загрязнения или восстановления нарушенных сред обитания и естественных процессов.

Общая концепция и цели. Формулировка общей концепции, описывающая идеальное состояние охраняемой территории в будущем. Сопровождается рядом целей, которые должны быть достигнуты с помощью управления в период действия плана. Цели должны касаться главных объектов охраняемой области, определяя меры по их защите, а также других важных сфер управления, например, партнерство, обучение и информирование об охране.

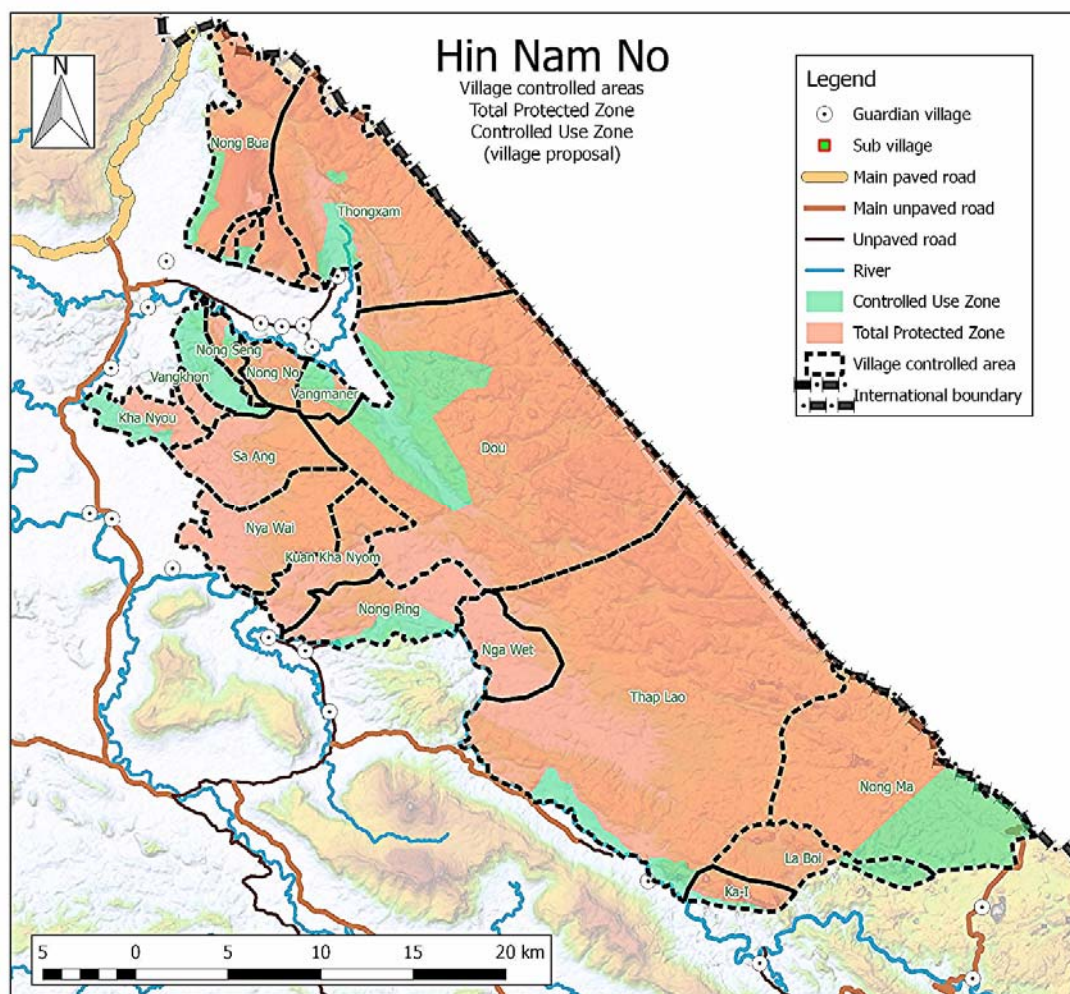
План зонирования. План зонирования с картами разрабатывается для демонстрации границ, классификации и управления, а также разрешенных и запрещённых активностей для каждой зоны. У многих охраняемых территорий есть полностью охраняемая (заповедная) зона, зоны для посещения ключевых достопримечательностей, таких как пещеры и обзорные точки, и контролируемая зона использования природных ресурсов местными сообществами. Зонирование может использоваться для защиты критических сред обитания и участков, таких как поглощения потоков, пещеры и родники, и для восстановления нарушенных областей. Эффективной формой зонирования является классификация пещер на охраняемой карстовой территории по различным уровням охраны и использования. Зонирование может использоваться внутри пещер, где различные галереи имеют разные уровни защиты и доступа в зависимости от уязвимости ресурсов и опасностей.

Организационные мероприятия. Конкретные действия, которые необходимо будет выполнить для достижения целей, приоритетные действия и распределение ролей и обязанностей различных заинтересованных сторон. Подробности могут быть приведены в отдельном ежегодном эксплуатационном плане. Отдельные планы управления могут быть составлены для некоторых действий или участков, например для экскурсионных или приключенческих пещер, либо для учета изменения климата и его воздействия. У этих вспомогательных планов могут быть те же самые основные элементы, как в этом примере. Организационные мероприятия могут включать:

- Управление био- и георазнообразием;
- Управление водосборным бассейном;
- Управление культурными объектами;
- Восстановление истощённых ресурсов;
- Управление посетителями и инфраструктурой;
- Информирование об охране природы и распространение информации в школах;
- Мониторинг;
- Научные исследования;
- Исследование и съёмка пещер;
- Патрулирование и охрана порядка;
- Системы раннего предупреждения и реагирования и действия по спасению;
- Развитие прилегающих населённых пунктов;

- Обучение и администрирование.

Мониторинг и анализ. Этот раздел в общих чертах обрисовывает, как будет контролироваться выполнение плана управления, а также когда и как будет проведён его анализ. Он должен включать показатели, демонстрирующие изменения в охраняемой территории. Мониторинг должен быть сосредоточен, прежде всего, на природных ресурсах, основываясь на их ценности или значении, их уязвимости, недолговечности и серьезности фактических или ожидаемых угроз или воздействий.



Зонирование в целях управления в карстовой области, Национальный парк Хин Нам Но (Hin Nam No), Лаос. Карта: Ronny Dobbelssteijn.

Коренные народы и управление карстовой территорией

Охраняемые территории, организованные и управляемые государством, стали основным способом сохранения карстовых ресурсов в мире. Однако выяснилось, что нередко возникают конфликты между управляющим органом и людьми, живущими в непосредственной близости от охраняемой территории. Когда большая часть или вся земля охраняемой территории принадлежит государству, установить контроль над её использованием не сложно, но если земля находится в частной собственности, это гораздо труднее. В развитых странах местные сообщества обычно участвуют в процессе принятия решений, например, избираясь на местном уровне в советы директоров или в процессе консультаций по спорным проблемам. В этом отношении есть некоторые различия между охраняемыми территориями, которые содержат карстовые объекты и пещеры, и территориями с другими объектами охраны. Однако в течение XXI столетия возникает всё больше проблем, связанных с управлением территориями, на которых проживает существенное количество коренного населения.

Причастность коренных народов к управлению Всемирным наследием – растущий тренд. С 2005 г. в Практических рекомендациях ЮНЕСКО по объектам Всемирного наследия (параграф 40) продвигается «партнерский подход к подаче заявки на включение в Список наследия, управлению и мониторингу». Эти рекомендации были пересмотрены и расширены в 2017 г., при этом активное участие коренных народов в управлении объектами Всемирного наследия считается необходимым и ведёт к внедрению передовых практик управления. В 2015 г. Комитет Всемирного наследия организовал *Международный форум коренных народов по Всемирному наследию*. Цель этого форума состоит в том,

чтобы повысить роль сообществ в «идентификации, сохранении и управлении объектами Всемирного наследия»; он проводится каждый год, совпадая по времени с совещанием Комитета Всемирного наследия. В 2018 г. ЮНЕСКО одобрил *Политику по привлечению коренных народов 201EX/6*. Этот важный документ охватывает роль коренных народов в сохранении природного и культурного наследия, причем по отношению ко всем активностям, поддерживаемым ЮНЕСКО, не только относительно Всемирного наследия. Следовательно, планирование управления должно принимать во внимание традиционные или местные системы управления, используемые коренными народами. Может существовать традиционное право собственности на землю, которое сохранялось в течение многих столетий. Это право может не иметь официального признания на государственном уровне и даже может быть нежелательным, но это необходимо учитывать в действиях по управлению.

В этой главе мы приводим четыре примера управления карстовой охраняемой территорией с вовлечением коренных народов в планирование и управление с самого начала. Многие можно использовать в повседневной практике, но многое ещё предстоит осмыслить, поскольку эти отношения постоянно развиваются и формируются.

Национальный парк Хин Нам Но (Hin Nam No), Лаос: совместное управление в действии



Деревенские гиды с надувной лодкой для пещерных туров, Национальный парк Хин Нам Но, Лаос. Фото: Terry Bolger.

Хин Нам Но – охраняемая карстовая территория в центральном Лаосе, которая в настоящее время номинируется на включение в Список объектов Всемирного природного наследия. Область содержит полигональный карст, а её общая площадь составляет 94 тыс. га. Самая большая по объёму в мире речная пещера, Се Банг Фай (Xe Bang Fai), относится к важным объектам территории, и с каждым годом её посещает всё больше туристов. Однако ограниченность финансовых и людских ресурсов не даёт в полной мере управлять и контролировать эту охраняемую территорию. С целью повышения эффективности управления в Хин Нам Но была установлена система совместного управления, в которой активную роль играют местные сообщества, получившие полномочия и обязанности по управлению природными ресурсами, от которых они зависят. Таким образом, одновременно решается задача сохранения биологического разнообразия и георазнообразия, а также снижения уровня бедности на этой территории и вокруг неё. В 18-ти деревнях, на попечении которых находится Хин Нам Но, живет около 8 тыс. человек из семи этнических групп. Развитие успешного совместного управления требует, чтобы и деревни-попечители, и правительственные учреждения взяли на себя соответствующие и ясно очерченные роли и обязанности по охране и защите.



Сотрудники охраняемой области и деревенские гиды в национальном парке Хим Нам Но (Hin Nam No), Лаос. Фото: Terry Bolger.

Следующие пять составляющих совместной модели управления в Национальном парке Хим Нам Но были разработаны и внедрены:

1. *Оценка руководства с помощью совместных консультаций.* Базовая оценка руководства была внедрена на трёх уровнях: деревни, района и провинции. Целью было зафиксировать текущий статус руководства и управления национальным парком Хим Нам Но. Результаты оценки впоследствии привели к необходимым согласованным вмешательствам и стали частью плана совместного управления Хим Нам Но.
2. *Создание совместной структуры управления и руководства.* Для внедрения системы совместного управления необходима правовая и политическая основа на национальном уровне. Был организован совместный комитет управления Хим Нам Но. Основными заинтересованными сторонами и правообладателями комитета стали деревни-попечители (с обычными правами) и органы управления охраняемыми территориями, а второстепенными заинтересованными сторонами стали районные государственные учреждения, такие как правоохранительные органы, сельскохозяйственные и туристические организации.
3. *Совместное зонирование земель, основанное на местных традициях и обычаях.* Национальный парк Хим Нам Но (Hin Nam No) был разделён на районы для патрулирования каждой деревней-попечителем, согласно имеющимся тропам и обычаям деревень. Были выделены также зоны контролируемого использования (CUZ) природных ресурсов деревнями-попечителями; в основе этих зон также лежат территории, традиционно используемые для этих целей. Зоны контролируемого использования включают около 14% площади национального парка Хин Нам Но. Оставшиеся 86% площади включены в заповедную зону.
4. *Соглашения о совместном управлении.* Соглашения о совместном управлении, подписанные со стороны комитета совместного управления Хин Нам Но и каждой деревней-попечителем, содержат правила использования природных ресурсов для зон контролируемого использования и включают взаимовыгодные меры, касающиеся патрулирования, соблюдения правопорядка и туристической деятельности.
5. *Вовлечение местных жителей в управление охраняемой территорией.* Около 120 деревенских смотрителей из 18 деревень-попечителей наняты для совершения регулярных поездок в охраняемую территорию с сотрудниками Национального парка Хин Нам Но для наблюдений за дикой природой, предотвращения угроз и участия в патрулировании и охране правопорядка. Деревенские смотрители помогают исследованиям и исследовательским группам в национальном парке Хин Нам Но, так как их местное знание карстовых объектов, пещер, лесных ландшафтов и следов неогценом. В деревнях-попечителях имеется около 35 деревенских гидов, которые предлагают туристическую активность в области экотуризма. Они проводят туры к пещере Се Банг Фай

(Xe Bang Fai) и нескольким другим пещерам, а также организуют прогулки в захватывающих карстовых ландшафтах национального парка Хин Нам Но.

Пункты 3, 4 и 5 – особенно важные компоненты совместной системы управления. Они опираются на существующую традиционную систему управления ресурсами вместо того, чтобы создавать совершенно новую, которая подрывает традиционные подходы, приводя к конфликтам. Эта совместимость с традиционными системами управления поощряет участие деревень, которое жизненно важно в местах, где наблюдается дефицит финансовых и административных ресурсов.

Эффективность управления повысилась на 16% с тех пор, как в 2014 г. было начато совместное управление национальным парком Хин Нам Но, при этом значительно улучшились технические возможности и управленческие навыки. Потребуется дальнейшая работа по наращиванию потенциала, реализации планов управления, адаптивному управлению и устойчивому финансированию для поддержания этой системы совместного управления и, следовательно, для защиты и сохранения карстовых ресурсов национального парка Хин Нам Но.



Посетители на тропе и висячем мосту, который является частью карстовой трассы на охраняемой территории Фоу Фа Ман (Phou Pha Marn), Лаос. Фото: Terry Bolger.

Хайда Гуай (Haida Gwaii), Британская Колумбия, Канада – люди Хайда: шесть этических принципов

Лесное хозяйство – один из самых широко распространенных видов землепользования на карстовых территориях в Британской Колумбии. На этом примере видно, почему так важно развивать наше представление о природе карстовых ландшафтов. Главным объектом охраны на территориях лесных карстовых территорий до конца 1990-х гг. были пещеры, пока министерство лесного хозяйства Британской Колумбии не объявило о системном подходе к управлению карстовыми ландшафтами. Теперь любое использование земли или разработка природных ресурсов, которые происходят здесь, требуют учёта воздействия на карстовые системы, водоносные горизонты и водосборные бассейны, а также учёта связанных с карстовыми ландшафтами потенциально опасных геологических процессов.

В инновационном проекте участвуют представители коренного населения Хайда-Гуай. Эти континентальные острова с национальным парком Гуай-Хаанас (Gwaii Haanas) лежат у северо-западного побережья Британской Колумбии, на север от острова Ванкувер. На островах расположена обширная карстовая область, покрытая хвойными лесами, с пещерами важного культурного и научного значения. Лесохозяйственные работы нарушили целостность пещер и карстовых объектов. Жители Хайда-Гуай заняли эти территории в незапамятные времена и выстроили рабочие отношения с правительственными учреждениями на местном и национальном уровнях. Совет старейшин Хайда-Гуай выработал чёткое представление об использовании земли. Оно применяется не только к карстовым областям, но и ко всей территории Хайда-Гуай, включая морскую область.

Шесть этических норм и ценностей, на которых построено это общее представление, перечислены ниже на языке хайда, затем по-русски:

1. *Yahguudang* или *Yakguudang* – «Уважение». Уважение друг к другу и всем живым существам – корень нашей культуры. Мы берём только то, в чём мы нуждаемся, мы благодарим и признаем тех, кто ведёт себя соответственно.
2. *Giid tll'juus* – «Мир острый, как лезвие ножа». Наши взаимодействия с миром природы должны быть сбалансированы. Если мы не осторожны в своих поступках, мы можем легко подойти к роковой черте. Наши методы и методы других людей должны быть устойчивыми.
3. *Gina waadluxan gud ad kwaagiida* – «Всё зависит от всего остального». Этот принцип сопоставим с комплексным подходом к управлению.
4. *Isda ad diigii isda* – «Давать и получать». Давать и получать (взаимность) – уважаемая практика в нашей культуре, необходимая для нашего взаимодействия друг с другом и миром природы. Мы постоянно благодарим мир природы за дары, которые мы получаем.
5. *Gina k'aadang.nga gii uu tl' k'anguudang* – «Поиск мудрого совета». Наши старшие учат нас традиционным путям и как работать в гармонии. Как лес, переплетены корни наших людей. Мы сообща рассматриваем новые идеи и информацию в соответствии с нашей культурой, ценностями и законами.
6. *'Laa guu ga kanhllns* – «Ответственность». Мы принимаем на себя ответственность, переданную нам нашими предками, управлять морем и землёй, и заботится о них. Мы позаботимся о том, чтобы наше наследие передавалось будущим поколениям.

Эти шесть этических принципов и ценностей воплощены в рабочем определении экосистемного управления Хайда:

«Уважение – фундамент экосистемного управления. Это значит, что земля, море, воздух и все живые существа, включая человеческое сообщество, взаимосвязаны, и что мы ответственны за поддержку и восстановление баланса и гармонии».

Гуай Хаанас Гина «План управления Waadluxan KilGuhlGa Land-Sea-People», 2018.

Существует соответствие между этими принципами Хайда-Гуай и передовым опытом научного управления, приведенного в таблице ниже.

*Сравнение принципов Хайда и научных принципов для экосистемного управления. От Совета Нации Хайда, 2007. Общее представление об использовании земли Хайда – Хайда Гуай *yah'guudang* (уважающее Хайда Гуай).*

Принципы Хайда	Параллельные научные принципы	Возможные приложения
Уважение	Превентивный подход	Ответственность за благосостояние всех видов; предотвращение расточительных методов рыболовства, например, перелова
Баланс	Устойчивое использование в течение долгого срока	Гарантия устойчивого рыболовства; учёт экологической и социально-экономической информации
Взаимосвязанность (все зависит от всего остального)	Интегрированное управление	Связь с планированием использования земли; учёт сочетаемости морских активностей и кумулятивного влияния разработок
Отдача и получение (взаимодействие)	Равноправное разделение	Учёт первоначальной ценности всех живых существ в процессе планирования; использование справедливых и равноправных подходов к распределению исчерпаемых ресурсов
Поиск мудрого совета	Адаптивное управление Лучшая информация	Использование традиционных знаний; повышение осведомленности через исследование, просвещение и мониторинг
Ответственность	Включение и объединение	Уважение собственности и прав Хайда; обеспечить достаточный правоприменительный потенциал

Объект Всемирного наследия Гунунг Мулу (Gunung Mulu), Саравак – народы Пенан и Бераван: осознанность через образование и обучение



Местный смотритель парка у верхнего входа в пещеру Дьер (Deer), Мулу. Фото: John Gunn.

Карстовые ландшафты Гунунг Мулу (Gunung Mulu) северного Саравака, Малайзия, включает несколько самых протяжённых пещер в Юго-Восточной Азии. Мулу расположен приблизительно в 100 км к востоку от прибрежного города Мири. В небольшой Мулу есть ежедневные воздушные рейсы, а также в него можно попасть на лодке вверх по рекам Барам (Baram) и Тутох (Tutoh). Площадь национального парка Гунунг Мулу составляет 90 тыс. га, и большая часть посетителей приезжает на самый юг карстовой области, куда можно попасть от расположенного рядом с городом головного офиса. Более чем 90% парка не посещается туристами и находится в нетронутом состоянии. В национальном парке Гунунг Мулу работала экспедиция Королевского географического общества в 1978 г., после чего в 1982 г. в Обществе был подготовлен план управления для парка. Ему на смену пришёл новый план управления на период 1992-1995 гг., а затем парк был номинирован и попал в список объектов Всемирного наследия в ноябре 2000 г. и впоследствии стал одним из наиболее показательных национальных парков в Юго-Восточной Азии и моделью для устойчивого развития, которую можно применять в других местах. Курортно-туристическая компания Borsarmulu Sdn. Bhd. спроектировала стратегический план управления и участвовала в соглашении с правительством для управления и развития Мулу как образцового парка и витрины Саравака и Малайзии. С 2001 г. интерес к туризму быстро рос, особенно на международном уровне. Это повысило уровень ответственности и потребовало распространения знаний о Мулу среди туристов, чтобы «действительно понять важность», как гласит слоган национального парка Гунунг Мулу.

Одно из ключевых требований для поддержания статуса объекта Всемирного наследия – предоставление корректной и правильной с научной точки зрения информации посетителям и поддержка научных исследований. Вместе с тем необходимо укреплять местное сообщество и предоставить возможности для трудоустройства в этом отдалённом районе. Согласно принципам Всемирного наследия и плану управления, местные жители должны обучаться в качестве гидов и переводчиков. У местных народов есть чувство и понимание леса и удивительные навыки, но имеются языковые трудности и нехватка образования, а также слабый интерес к науке. Управление национальным парком Гунунг Мулу разработало схему обучения новых гидов и переподготовку уже работающих. Этот курс разбит на модули: карст и пещеры; лес; полностью охраняемые территории и связанные с ними постановления; биологическое и геологическое разнообразие. Есть специальный раздел, посвященный работе с клиентами и проведением путешествий, как в экскурсионной, так и в приключенческой пещере. Часть обучения – сертифицированный курс первичной первой помощи.

Национальный парк Гунунг Мулу нуждается в местном сообществе, а сообщество нуждается в парке. Основанный на этом взаимодействии, Мулу может рассматриваться как история успеха, однако такой статус требует постоянной работы. В 2021 г. в компаниях Мулу 97% сотрудников составляли местные жители. В местной начальной школе Бату Бунган дети уже с раннего возраста изучают вопросы развития сообщества, где с ними работает сотрудник по связям в области образования и исследований, назначенный Мулу. Для национального парка Гунунг Мулу школа – точка соприкосновения, где все коренные жители различных этнических принадлежностей имеют общую цель – обучение

детей. Для национального парка Гунунг Мулу – это практичный способ повышения осведомлённости и интереса будущих поколений гидов и других работников парка.

В национальном парке Гунунг Мулу есть возможности для туризма как спортивного, так и экстремального. В настоящее время там работают 70 зарегистрированных гидов. Только 20 из них работают в штате парка, остальные – гиды агентств или туроператоров, а также оказывающие услуги на фрилансе. Это означает, что значительная часть гидов, действующих в национальном парке Гунунг Мулу, не устроены на работу в парк и не входят в юрисдикцию Borsarmulu, что часто усложняет работу. Эти внештатные гиды могут посещать дополнительные занятия по обучению гидов и эпизодически делают это.



Местные гиды, везущие посетителей к Сунгей Лансам (Sungei Lansat), национальный парк Гунунг Мулу. Фото: John Gunn.

Заповедник YUS, Папуа-Новая Гвинея: устойчивое использование ресурсов

Заповедник Йопно-Урува-Сом (Yopno-Uruwa-Som или YUS) расположен на гряде Сарувэгед (Saruwaged) в области Моробе (Morobe) Папуа-Новой Гвинеи. Эти высокие горы (более 3500 м над уровнем моря) содержат обширные карстовые области, развитые на переслаивающихся известняках и аргиллитах. Имеются многочисленные пещеры, называемые макна (такна) на местных языках Юпна (Yupna) и Нунган (Nungan). Пещеры имеют ритуальное значение, а также используются в качестве ночных убежищ и мест охоты на летучих мышей. Сельские сообщества Папуа-Новой Гвинеи живут, прежде всего, натуральным хозяйством, полагаясь на природные ресурсы и плодородную почву, как делали их предки в течение нескольких поколений до этого. Однако предводители общин YUS стали замечать изменения, никогда прежде не происходившие: важные ресурсы стали заканчиваться.

"Нашим охотникам приходится преодолевать большие расстояния, чтобы найти животных в лесу. Иногда мы должны были охотиться в областях, принадлежащих другим кланам без их согласия, потому что мы не могли найти достаточно пищи на нашей традиционной земле, чтобы накормить свои семьи"

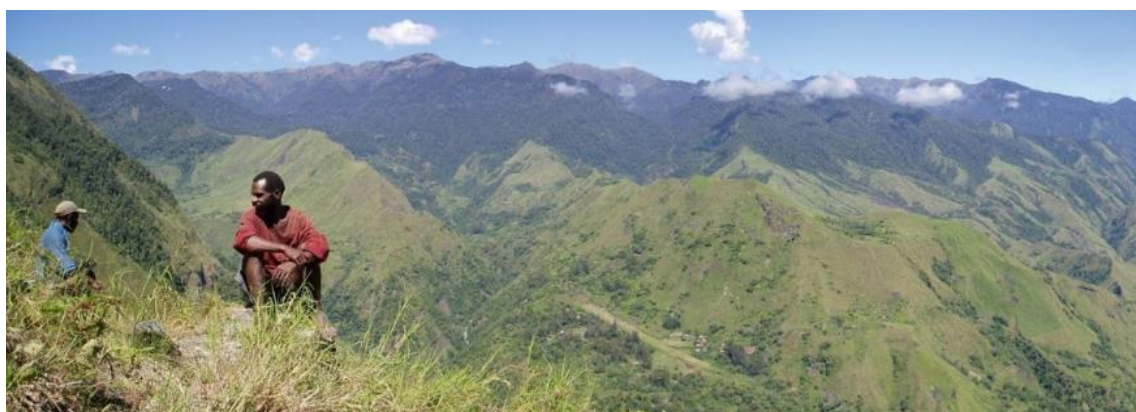
Мэтью Томбе (Matthew Tombe), деревня Исан (Isan), YUS.

Более чем 90% земли Папуа-Новой Гвинеи принадлежит коренным жителям, следовательно, поддержка местного сообщества жизненно важна для защиты ландшафта YUS. Больше десятилетия Программа Охраны Три Кэнгеру (Tree Kangaroo – древесный кенгуру) была нацелена на работу с деревнями для устойчивого управления этим ландшафтом и ресурсами, от которых зависят люди и дикая природа. Содействуя этому, Карау Куна (Karaui Kuna) составил Планы использования земель сообщества (LUP) с 50 деревнями, чтобы прийти к консенсусу по использованию ресурсов, выгодному для людей и обеспечивающему защиту природы.

Заповедник YUS, зарегистрированный в 2009 г., покрывает территорию в 76 тыс. га и состоит из участков земли, которые были выделены местными владельцами и кланами для охраны биологического разнообразия. Заповедник был ранее частью традиционных охотничьих угодий, которые принадлежат пяти языковым группам. Выделенная земля по-прежнему находится во владении у коренного населения, но заготовка леса и охота теперь запрещены согласно Закону об охране Папуа-Новой Гвинеи (1978 г.). Первичный лес, доминирующая экосистема в ландшафте YUS, покрывает 70%

территории заповедника. Леса доминируют от уровня моря до 3100 м, а выше расположены альпийские луга. Леса – критическая среда обитания для древесных кенгуру Матчи, вымирающего вида, и других древесных сумчатых, а также райских птиц. Эти тропические леса, кроме того, запасают углерод. Другие типы растительного покрова в YUS включают часто выгорающие антропогенные луга, нарушенные и вторичные леса, а также сочетание сменного и более интенсивного сельского хозяйства, незначительное количество кофейных плантаций, плантаций какао и небольшие агролесные участки.

Проект YUS направлен на сохранение лесного углерода, эндемического биоразнообразия и экосистемных услуг, а также на поддержку местных сельских сообществ, обеспечивая поступление дохода от устойчивой деятельности, оказывающей незначительное влияние на традиционный образ жизни. Интеграция моделей устойчивого развития, преследующих несколько целей, является серьезной проблемой при планировании землепользования. В начале на всех клановых территориях проводились организованные семинары для привлечения местных землевладельцев и выяснения их отношения к созданию заповедника YUS. Районирование территории на заповедную зону и зону многоцелевого использования и деревенского производства было выполнено местными кланами и затем нанесено на карту местными жителями, использующими GPS и спутниковые снимки. На территории каждого клана местные жители получили работу с частичной занятостью – как охранники и работники образования. Были заложены небольшие кофейные плантации на теневых участках с обучением в области лесного хозяйства, предоставленным американской кофейной компанией Fair Trade. Эта компания также управляет производством и продажей кофе в YUS под брендом «древесного кенгуру». Агролесные участки были устроены на антропогенных лугах, чтобы увеличить доступные ресурсы древесины для сельских жителей. Другие инициативы повысили доступность школ и здравоохранения в этой области – две проблемы, которые были озвучены на семинарах.



Долина Урува (Uruwa) в заповеднике Йопно-Урува-Сом (Yopno-Uruwa-Som) из полевого лагеря Васаунон (Wasauwon). Альпийские луга в карстовой области лежат выше горного леса с неровной нижней границей из-за вырубленных участков вокруг деревень. Фото: David Gillieson.

В рамках крупной инициативы, финансируемой немецким банком развития KfW Bankengruppe, запасы углерода оценивались с использованием методологии REDD+ (см. [Интернет-ресурсы](#)) для различных типов растительного покрова в YUS. Эти оценки дополнили картографирование растительности, используя дистанционные методы и полевые исследования. В рамках этого проекта были получены репрезентативные данные о запасах углерода путем отбора проб в первичных лесах в широком экологическом диапазоне. Команда проекта также оценила запасы углерода во вторичном лесу, затенённых плантациях кофе, залежных садах и антропогенных пастбищах, чтобы получить информацию о будущем управлении землепользованием для повышения связывания углерода.

Поскольку методология REDD+ подчеркивает включение местных жителей в развитие, управление и контроль проектов компенсации выбросов углерода, команда разработала учебный модуль, нацеленный на привлечение местных жителей к оплачиваемой работе по оценке углерода. Сбор информации о наземной биомассе и мониторинг запасов лесного углерода местными жителями могли стать основой для построения базы учета углерода и мониторинга лесного углерода в существующих проектах REDD+, а также предоставить средства к существованию людям, воздерживающимся от эксплуатации леса. Ландшафты, обеспечивающие средства к существованию, такие как сады, системы агролесоводства или плантации, могут поглощать и накапливать существенное количество углерода при рациональном управлении земельными ресурсами. Интеграция методологии и инструментов пространственного мониторинга и отчетности (SMART) расширяет возможности комитета по управлению заповедной зоной YUS по получению и анализу данных, собранных наблюдателями YUS во время ежемесячных патрулей, по разработке управленческих мер, ориентированных на полученные данные, для смягчения угроз и вызовов, а также по выявлению позитивных тенденций присутствия ключевых видов.



Сельские жители заповедника Йопно-Урува-Сом (Yopno-Uruwa-Som) и команда проекта картографирования делают наземную инвентаризацию запасов углерода. Фото: David Gillieson.

Рекомендации

- (72) Для любой охраняемой территории, где живут коренные народы, должна быть создана правовая и политическая база для разработки совместной системы управления, в составе которой будет действовать местная рабочая группа. Первичными заинтересованными сторонами и правообладателями являются местные жители и органы управления охраняемой территорией, а второстепенными заинтересованными сторонами являются соответствующие правительственные органы.
- (73) В тех охраняемых карстовых областях, в которых есть коренные народы, должно быть организовано совместное районирование земель, основанное на традиционных знаниях и обычаях. Оно должно в идеале включать контролируемые зоны использования, где осуществляются некоторые экономические действия, и полностью заповедные зоны, где охрана природы – главная цель.
- (74) Управляющие парков, в которых есть коренные народы, должны подготовить соглашения совместного управления с местными сообществами, написанными на соответствующем языке, чтобы у каждого сообщества была ясно определенная область для её управления и экономических действий.
- (75) Управляющие парков, в которых есть коренные народы, должны вовлекать местных жителей в управление охраняемой областью. Работа смотрителей и сопровождение туристов в пещерах и на карстовых ландшафтах – основные способы трудоустройства и поддержки местного сообщества. Необходимы программы обучения смотрителей и гидов языку, который, вероятно, используется большинством посетителей, а также истории развития региона.
- (76) Ключевое требование для продвинутого управления – потребность предоставить корректную и правильную с научной точки зрения информацию посетителям и способствовать проведению соответствующих исследований, не влияющих на окружающую среду.

Заключение

Карстовые ландшафты и пещеры – это совершенно исключительные места, которые, однако, испытывают на себе самые разные влияния, и поэтому их очень непросто контролировать как с точки зрения использования земельных, водных и экологических ресурсов, так и с точки зрения управления охраняемыми территориями. Лишь небольшая часть карстовых

областей управляется исключительно в целях охраны природы, гораздо чаще охраняемые пещеры и карстовые ландшафты используются для туризма и отдыха, играя важную роль в информировании общества о карстовых системах и их чувствительности к нарушениям и воздействиям. В некоторых юрисдикциях разрешена другая социально-экономическая деятельность, а иногда она может иметь историческую основу. Такие ситуации требуют тщательного анализа с целью установить, что все действия в пределах и вокруг охраняемой карстовой территории совместимы с глобальной целью охраны природы. Органы управления должны определить карстовые районы, не включённые в пределы охраняемых территорий, и рассмотреть возможность сохранения ценностей этих областей с помощью таких средств, как контроль планирования, программы общественного образования, соглашения о защите наследия или использования земли.

Климат естественным образом менялся в течение геологических эпох, в пределах которых также развивались и карстовые системы. Однако вмешательство человека в природу ускорило климатические изменения, и это может радикально сказаться на естественных карстовых процессах. Рекомендации по управлению должны быть гибкими, учитывающими данную реальность, и направленными на повышение устойчивости системы. Последствия редких, но катастрофических событий, таких как наводнения, цунами, пожары и землетрясения, должны быть учтены в стратегиях управления на региональном и местном уровнях, а также в плане управления конкретной территорией. Такие события становятся всё более частыми и опережают способность общества справиться с их воздействиями.

Местные факторы определяют конкретные нагрузки и возможности, которые возникают в каждой карстовой области. Таким образом, цель этих Рекомендаций – обозначить те опции, которые бы не были чрезмерно директивными, так как в глобальном масштабе они стали бы невыполнимыми. Мы сосредоточились на специфических общих проблемах карстовых ландшафтов. Нужно подчеркнуть, что эти Рекомендации должны всегда применяться в условиях местного контекста с учётом местного биологического и геологического разнообразия и чувствительности к социально-экономическим и политическим факторам.

Философия управления природными ресурсами в последнее время испытала глобальный сдвиг. Раньше природоохранное управление носило ограничительный и запрещающий характер, невзирая на общественное мнение. Теперь же управление меняется в сторону большей информированности и особого подхода к жителям уязвимых и важных областей или территорий вокруг, а сами эти области управляются с помощью адаптивного менеджмента. Задача управляющих пещерами и карстовыми территориями состоит в том, чтобы принять эти новые парадигмы, сохраняя при этом невозобновляемые ресурсы.

Мы надеемся, что этот отчет и Рекомендации помогут управленцам и планировщикам в работе по повышению осведомлённости населения о карстовом ландшафте и пещерных системах, и, следовательно, помогут убедить местное население в необходимости более эффективной защиты, управления и участия в этом процессе. Рекомендации должны также помочь в подготовке более чётких стратегий или планов управления на национальном и региональном уровнях, а также в масштабах конкретной территории.

Дополнительная литература

- Crofts R., Gordon J.E., Brilha J. *et al.* (2020). *Guidelines for geoconservation in protected and conserved areas*, Best Practice Protected Area Guidelines Series No. 31. IUCN, Gland, Switzerland. Доступно на: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.PAG.31.en>
- Culver D.C., Pipan T. (2009). *The biology of caves and other subterranean habitats*. Oxford University Press, Oxford.
- Drew D., Hötzl H. (1999). *Karst hydrogeology and human activities: Impacts, Consequences and Implications*. IAH International Contributions to Hydrogeology 20. Routledge.
- Ford D., Williams P., (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester.
- Gillieson D.S. (2021). *Caves: Processes, Development and Management*. 2nd Edition. Wiley-Blackwell, Oxford.
- Gunn J. (ed.). (2004). *The Encyclopedia of Caves and Karst Science*. Taylor and Francis – Routledge, New York.
See especially entries on Recreational Caving, Restoration of Caves, and Tourism and Caves: History.
- Hildreth-Werker V., Werker J.C. (eds.). (2006). *Cave Conservation and Restoration*. National Speleological Society, Huntsville, AL, USA. Доступно на: <https://protect-au.mimecast.com/s/u6sYC71ZQzSARY91Zc8-Dg4?domain=digital.lib.usf.edu>
- International Show Caves Association (ISCA). 2014. *Recommended international guidelines for the development and management of show caves*. ISCA. Доступно на: <https://www.i-s-c-a.org/documents>
- Kresic N. (2013). *Water in Karst*. McGraw Hill, New York.
- Palmer A.N. (2007). *Cave Geology*. Cave Books, Dayton, Ohio.
- Thomas L. and Middleton, J. (2003). *Guidelines for management planning of protected areas*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Доступно на: <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGTS/MGTS11/U5/thomas-middleton-2003-guidelines.pdf>
- Van Beynen P. (ed.) (2011). *Karst Management*. Springer, New York.
- Veni G. DuChene H. (eds.) (2001). *Living with karst: a fragile foundation*. Environmental Awareness Series no. 4, American Geological Institute. Доступно на: <https://store.americangeosciences.org/living-with-karst.html>
- Watson J., Hamilton-Smith E., Gillieson D., Kiernan K. (1997). *Guidelines for Cave and Karst Protection*. IUCN, Gland, Switzerland. Доступно на: <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/1997-026.pdf>
- White W.B., Culver D.C., Pipan T. (eds.) (2019). *Encyclopedia of Caves*, 3rd edition. Academic Press.
- Williams P.W. (2008). *World Heritage Caves and Karst*. IUCN, Gland, Switzerland. Доступно на: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2008-037.pdf>
- Worboys G.L., Lockwood, M., Kothari, A., Feary, S. Pulsford, I. (eds.) (2015). *Protected Area Governance and Management*. ANU Press, Canberra, Australia. Доступно на: <https://press.anu.edu.au/publications/protected-area-governance-and-management>

Интернет-ресурсы

- Australian Speleological Federation Minimal Impact Caving Codes in 1995, with the latest version (2010) [Кодекс минимального воздействия на пещеры Австралийской спелеологической федерации]. Доступно на: <https://www.caves.org.au/administration/codes-and-standards>

British Cave Science Centre (free data source) [Британский пещерный научный центр]. Доступно на: <https://www.cave-science.org.uk/>

British Caving Association Minimal Impact Caving Guidelines [Рекомендации по минимальному воздействию на пещеры Британской ассоциации спелеологов]. Доступно на: <https://british-caving.org.uk/our-work/cave-conservation/>

Canyoning code of conduct [Правила поведения при каньонинге]. Доступно на: www.icopro.org/pages/icopro-canyoneer-charter-104.html

Cave gates advice. [Советы по пещерным дверям] Доступно на: <https://digital.lib.usf.edu/content/SF/SO/05/10/33/00001/K26-00584-147-166.pdf>

Climbers Pact [Соглашение скалолазов]. Доступно на: www.accessfund.org/learn/the-climbers-pact

Guide on digging to find new caves in protected areas (UK) [Руководство по раскопкам для поиска новых пещер на охраняемых территориях]. Доступно на: <https://thedca.org.uk/images/dca/publications/leaflets/Cave-Digging.pdf>

Guidelines for applying protected area management categories [Руководство по применению категорий управления охраняемыми районами]. Доступно на: <https://portals.iucn.org/library/node/30018>

Information on training for cave instructors (UK) [Информация по обучению инструкторов по спелеологии]. Доступно на: <https://british-caving.org.uk/our-work/training/>

International Union of Speleology (UIS) has a 'Code of Ethics for Cave Exploration, and Science in Foreign Countries' [Международный союз спелеологов разработал «Кодекс этики исследования пещер и науки в зарубежных странах». Доступно на: <https://uis-speleo.org/wp-content/uploads/2020/03/Code-of-Ethics-of-the-UIS-English-Language.pdf>

IUCN Protected Area categories [Категории охраняемых территорий МСОП]. Доступно на: <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-area-categories>

Karst Management Handbook for British Columbia [Справочник по управлению карстом в Британской Колумбии]. Доступно на: <https://www.for.gov.bc.ca/hfp/publications/00189/karst-mgmt-handbook-web.pdf>

Karst Inventory Standards and Vulnerability Assessment Procedures for British Columbia [Стандарты инвентаризации карста и процедуры оценки уязвимости для Британской Колумбии], Доступно на: https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/natural-resource-stewardship/nr-laws-policy/risc/karst_risc.pdf

Minimal Impact Cave Rescue Code [Кодекс спасения в пещерах с минимальным воздействием]. Доступно на: <https://www.caves.org.au/administration/codes-and-standards/send/8-codes-and-standards/9-micrc2020>

National Speleological Society (USA) has Minimum-Impact Caving Guidelines that are regularly updated, most recently in February 2021 to take into account the Covid pandemic [Национальное спелеологическое общество (США) – Рекомендации по спелеологии с минимальным воздействием, которые регулярно обновляются, последний раз в феврале 2021 года с учетом пандемии Covid]. Доступно на: <https://caves.org/conservation/cavingcode.shtml>

New Zealand Department of Conservation has a 'Caving care code' [У Департамента охраны природы Новой Зеландии есть «Кодекс ухода за пещерами». Доступно на: <https://www.doc.govt.nz/parks-and-recreation/things-to-do/caving/caving-care-code/>

REDD+ Webb Platform [Интернет платформа REDD+]. Доступно на: <https://redd.unfccc.int/>

Tasmanian Cave Access Policy [Политика доступа к Тасманским пещерам]. Доступно на: www.dpipwe.tas.gov.au/Documents/PWS%20Cave%20Access%20Policy.pdf

United States Fish and Wildlife Service, White-nose Syndrome Response Team [Служба охраны рыбных ресурсов и дикой природы США, группа реагирования на синдром белого носа]. Доступно на: <https://www.whitenosesyndrome.org>

United States Environmental Protection Agency, A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology [Агенство по охране окружающей среды США, Лексикон пещерной и карстовой терминологии с особым упором на экологическую карстовую гидрологию]. Доступно на: <https://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p-download-id=36359>

Научная литература

Auler A.S., Piló L.B. (2015). Caves and mining in Brazil: the dilemma of cave preservation within a mining context. In *Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems*. (eds. B. Andreo, F. Carrasco, J.J. Durán, P. Jiménez, P. LaMoreaux). Springer, Berlin, 487–496.

Auler A.S., Souza T.A.R., Se D.C., Soares G.A. (2018). A review and statistical assessment of the criteria for determining cave significance, In *Advances in Karst Research: Theory, Fieldwork and Applications* (eds. M. Parise, F. Gabrovsek, G. Kaufmann, and N. Ravbar). Special Publications 466(1). Geological Society, London, 443–460.

Bátori Z., Csiky J., Farkas T. *et al.* (2014). The conservation value of karst dolines for vascular plants in woodland habitats of Hungary: refugia and climate change. *Int J Speleol* 43, 15–26. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.43.1.2>

British Columbia Ministry of Forests. (2003). *Karst management handbook for British Columbia*. British Columbia Ministry of Forests, Research Branch, Victoria, British Columbia, 81. <http://www.for.gov.bc.ca/hfp/publications/00189/Karst-Mgmt-Handbook-web.pdf>

Benstead J.P., Pringle C.M. (2004). Deforestation alters the resource base and biomass of endemic stream insects in eastern Madagascar. *Freshw Biol* 49, 490–501. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01203.x>

Burri E., Castiglioni B., Sauro U. (1999). Agriculture, landscape and human impact in some karst areas of Italy. *Int J Speleol* 28 B, 33–54.

Cigna A.A. (2011). The Problem of Lampenflora in Show Caves. *Journal of the Australasian Cave and Karst Management Association*, 82, 16–19.

Council of the Haida Nation. (2007). Haida Gwaii Strategic Land Use Agreement. Council of the Haida Nation. <http://www.haidanation.ca/Pages/Agreements/pdfs/Haida%20Gwaii%20Strategic%20Land%20838Use%20Agreement.pdf>

Council of the Haida Nation. (2018). *Gwaii Haanas Gina 'Waadluxan KilGuhlGa Land-Sea-People Management Plan*, Archipelago Management Board Gwaii Haanas National Park Reserve, Parks Canada, British Columbia.

Coxon C. (1999). Agriculturally induced impacts. In *Karst hydrogeology and human activities: Impacts, Consequences and Implications* (eds. D. Drew and H. Hötzl). IAH International Contributions to Hydrogeology 20. Routledge, 37–63.

Daly D., Dassargues A., Drew D. *et al.* (2002). Main concepts of the European approach for karst groundwater vulnerability assessment and mapping. *Journal of Hydrogeology*, 10, 340–345.

de Koning M., Parr J.W.K., Sengchanthavong S., Phommasane S. (2016). Collaborative governance improves management effectiveness of Hin Nam No National Protected Area in central Laos. *Parks* 22(2), 27–40.

- Doerfliger N., Jeannin P.Y., Zwahlen F. (1999). Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method). *Environmental Geology* 39, 165–176.
- Forti P. (2015). *The scientific and socio-economic importance of karst and caves and their vulnerability*. Brief for GSDR 2015.
- Frappier A.B. (2008). A stepwise screening system to select storm-sensitive stalagmites: taking a targeted approach to speleothem sampling methodology. *Quatern Int* 187(1), 25–39.
- Gerstner H., McArthur E., Clark B. (2018). Feeding the furnace of information, *Proceedings 22nd Australasian Cave and Karst Management Conference, Margaret River WA May 2018*, 6–10. <http://www.ackma.org/Proceedings/proceed/22/22contents.html>
- Gill D. (1999). Nomination of the Gunung Mulu National Park, Sarawak, Malaysia for World Heritage Listing. *Report to UNESCO World Heritage Committee*. Sarawak Forestry Department, Kuching.
- Gillieson D. (2011). *Cave Management*. In *Karst Management* (ed. P. E. van Beynen). Springer, New York.
- Gillieson D., Clark B. (2010). Mulu: The World's Most Spectacular Tropical Karst. In *Geomorphological Landscapes of the World* (ed. P. Migon), Springer, pp311–320.
- Gillieson D., Silverman J., Hopkinson R., Quenzer M., Kuna K. (2011). *Vegetation mapping for the YUS conservation landscape*. Report for Conservation International and KfW Bank, James Cook University, Cairns, 35.
- Goldcheider N., Chen Z., Auler A.S. *et al.* (2020) Global distribution of carbonate rocks and karst water resources. *Hydrogeology Journal* 28, 1661–1677.
- Goldscheider N. (2012). A holistic approach to groundwater protection and ecosystem services in karst terrains. *AQUA mundi* Am06046, 117–124. <https://groundwaterportal.net/sites/default/files/Holistic%20approach%20-%20groundwater%20ecosystems-%20karst%20terrains.pdf>
- Griffiths P., Ramsey C. (2005). Best management practices for palaeontological and archaeological cave resources. *Journal of the Australasian Cave and Karst Management Association*, 58, 27–31.
- Griffiths P.A., Ramsey C.L. (2009). *Assessment of Forest Karst Resources of Haida Gwaii: A Strategic Overview*. Gwaii Forest Society, Project SFM08–2008.
- Gunn J. (2021). Karst groundwater in UNESCO protected areas: a global overview. *Hydrogeology Journal*, 29(1), 297–314.
- Gunn J., Bailey D., Handley J. (1997). *The reclamation of limestone quarries using Landform Replication*. Department of the Environment, Transport and the Regions, HMSO, London.
- Gunn J., Trudgill S.T. (1982). Carbon dioxide production and concentrations in the soil atmosphere: A case study from New Zealand volcanic ash soils. *Catena*, 9, 81–94.
- Gutiérrez F., Parise M., De Waele J., Jourde H. (2014). A review of natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Sciences Reviews* 138, 61–88.
- Hamilton-Smith E., McBeath R., Vavryn, D. (1997). Best Practice in Visitor Management. *Proceedings of the 12th ACKMA Conference, 1997 Waitomo, New Zealand*. 85–96.
- Hardwick P., Gunn J. (1993). The impact of agriculture on limestone caves. *Catena supplement*, 25, 235–249.
- Hellstrom J., Sniderman K., Drysdale R. *et al.* (2020). Speleothem growth intervals reflect New Zealand montane vegetation response to temperature change over the last glacial cycle. *Sci Rep* 10, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58317-8>

- Iván V., Mádl-Szőnyi J. (2017). State of the art of karst vulnerability assessment: overview, evaluation and outlook. *Environmental Earth Sciences*, 76. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6422-2>
- Jones A., Angileri V., Bampa F. *et al.* (2013). *CAPRESE-SOIL: Carbon Preservation and Sequestration in agricultural soils, Options and implications for agricultural production*. Final report – EUR 26516. <https://doi.org/10.2788/77068>
- Kieft T.L., Havlena Z., Veni G. (2021). *An Investigation of Lighting and Chemical Methods to Prevent and Remediate Lampenflora, Carlsbad Cavern, New Mexico*. National Cave and Karst Research Institute Report of Investigation 14, Carlsbad, New Mexico.
- Liu Z., Dreybrodt W., Liu H. (2011). Atmospheric CO₂ sink: Silicate weathering or carbonate weathering? *Appl Geochemistry* 26, S292–S294. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.03.085>
- Manidis Roberts Consultants. (2000). *Gunung Mulu National Park Integrated Development and Management Plan*. Final Report. Sydney, Manidis Roberts Consultants.
- Martin-Sanchez P.M., Miller A.Z., Saiz-Jimenez C. (2015). Lascaux Cave: An Example of Fragile Ecological Balance in Subterranean Environments. In (*Microbial Life of Cave Systems* (ed. A.S. Engel), Berlin, München, Boston: De Gruyter, 279–302. <https://doi.org/10.1515/9783110339888-015>
- MacGregor C.L.V., Hellstrom J.C., Woodhead J.D., Drysdale R.N., Eberhard R.S. (2022). Low impact of sampling speleothems – reconciling scientific study with cave conservation. *International Journal of Speleology*, 51(1), 1–11. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.51.1.2406>
- McNie P.M. Death R.G. (2017). The effect of agriculture on cave-stream invertebrate communities. *Mar Freshw Res* 68, 1999–2007. <https://doi.org/10.1071/MF16112>
- Milanovic P. (2021). Dams and reservoirs in karst? Keep away or accept the challenges. *Hydrogeology Journal*. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02273-0>
- Milanović S., Vasić L. (2021). Review: Methodological approaches and research techniques for addressing construction and remediation problems in karst reservoirs. *Hydrogeology Journal* 29, 101–122.
- National Resources Conservation Centre. (2010). *Conservation Practice Standard*. <https://nrcc.usda.gov>
- Olarinoye T., Gleeson T., Marx V. *et al.* (2020) Global karst springs hydrograph dataset for research and management of the world's fastest-flowing groundwater. *Sci Data* 7, 59. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0346-5>
- Reed E.H. (2009). Decomposition and disarticulation of kangaroo carcasses in caves at Naracoorte, South Australia. *Journal of Taphonomy*, 7, 265–283.
- Simon K.S., Benfield E.F., Macko S.A. (2003). Food web structure and the role of epilithic biofilms in cave streams. *Ecology* 84, 2395–2406. <https://doi.org/10.1890/02-334>
- Spötl C., Matthey D. (2012). Scientific drilling of speleothems—a technical note. *Int J Speleol* 41(1), 29–34
- Stevanovic Z. (2019) Karst waters in potable water supply: a global scale overview. *Environmental Earth Science* 78, 662. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8670-9>
- Tattersall I., Schwartz J.H. (2001). *Extinct Humans*, Boulder, CO, Westview Press.
- Tercafs R. (2001). *The protection of the subterranean environment. Conservation principles and management tools*, P.S. Publishers.
- Thomas L., Middleton J. (2003). Guidelines for management planning of protected areas. *IUCN*, Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Titus T., Phillips-Lander C.M., Boston P.J., Judson Wynne J., Kerber L. (2020). Planetary Cave Exploration Progresses. <https://eos.org/science-updates/planetary-cave-exploration-progresses>

- Truebe S. (2015). *Cultivating a climate of cave conservation awareness: a synthesis of current speleothem sampling methods and best practice recommendations*. CLIMAS Climate and Society Fellowship Report. <https://climas.arizona.edu/sites/default/files/pdf2014truebefellowsreport.pdf>
- UNESCO (2018). *UNESCO policy on engaging with Indigenous peoples*, UNESCO, Paris. <https://en.unesco.org/indigenous-peoples/policy>
- United States Environmental Protection Agency (2002). *A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology*. <https://karstwaters.org/wp-content/uploads/2015/04/lexicon-cave-karst.pdf>
- Urich P.B. (1989). Tropical karst management and agricultural development: example from Bohol, Philippines. *Geogr Ann Ser B* 71B, 95–108. <https://doi.org/10.1080/04353684.1989.11879589>
- Urich P.B. (1996). Deforestation and declining irrigation in Southeast Asia: A Philippine case. *Int J Water Resour Dev* 12, 49–64. <https://doi.org/10.1080/713672197>
- Urich P.B. (2002). Land use in karst terrain: review of impacts of primary activities on temperate karst ecosystems. Science for Conservation 198 (Report). New Zealand Department of Conservation, Wellington.
- van Beynen P., Townsend K. (2005) A disturbance index for karst environments. *Environmental Management* 36, 101–116.
- Veni G. (1999). A geomorphological strategy for conducting environmental impact assessments in karst areas. *Geomorphology* 31, 151–180. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(99\)00077-X](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(99)00077-X)
- Venter M., Dwyer J., Dieleman W. et al. (2017). Large trees and natural disturbances drive forest biomass on a 3000m elevation gradient in Papua New Guinea, *Global Change Biology*, 23, 4873–4883. <https://doi.org/10.1111/gcb.13741>
- Wang K., Zhang C., Chen H. et al. (2019). Karst landscapes of China: patterns, ecosystem processes and services. *Landsc Ecol* 23, 4873–4883. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00912-w>
- Watson J., Hamilton-Smith E., Gillieson D., Kiernan K. (1997). *Guidelines for Cave and Karst Protection*. IUCN, Gland, Switzerland.
- Williams P.W. (1993). Environmental change and human impacts on karst terrains: An introduction. *Catena supplement*, 25, 1–20.
- Wood P.J., Gunn J., Rundle S.D. (2008). Response of benthic cave invertebrates to organic pollution events. *Aquat. Conserv. Mar Freshw Ecosyst* 18, 909–922. <https://doi.org/10.1002/aqc.933>

Литература по охране пещер на русском языке

- Амеличев Г.Н. Пещеры как объект экологического туризма // Ученые записка Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Т. 2(68), № 1. С. 86–98.
- Атлас пещер России. Гл. ред. А.Л. Шелепин; чл. редкол.: Б.А. Вахрушев, А.А. Гунько, А.С. Гусев, А.И. Прохоренко, Г.В. Самохин, А.Г. Филиппов, Е.А. Цурихин. М.: Русское географическое общество, Российский союз спелеологов. 2019, 768 с.
- Бортников М.П. Новейшие спелеологические исследования, проблемы экологии и охраны пещер Самарской области // Самарский край в истории России. 2001. Самара: ЗАО «Файн Дизайн». С. 244–246.
- Гайнуллин Д.А., Маликов Ф.А., Григорьев Н.Н. Охрана пещеры Шульган-Таш (Каповой) и нереализованные попытки ее благоустройства, 1960–1981 гг. // Проблемы истории, филологии, культуры. 2019. Вып. 2. С. 96–104.

- Голод В.М., Мавлюдов Б.Р., Киселев В.Э., Каплан Ю.М., Коврижных Е.В. Рекомендации по выявлению, учету, оформлению и организации охраны пещер и карстовых объектов в качестве государственных памятников природы. М.: ВООП. 1984, 50 с.
- Голубничая Е.Е. Экологические проблемы использования пещер в качестве объектов туризма // Стратегия устойчивого развития регионов России. 2013. № 15. С. 126-130.
- Гуркало Е.И., Шаврина Е.В. Принципы выделения карстово-спелеологических объектов как памятников природы // Экология северных территорий России. Проблемы, прогноз ситуации, пути развития, решения. М-лы международн. конф. ИЭПС УрО РАН. Архангельск, 2002. Т. 2. С. 971-974.
- Дублянский В. Н., Дублянская Г. Н., Лавров И. А. Классификация, использование и охрана подземных пространств. Екатеринбург: УрО РАН. 2001, 195 с.
- Кадебская О.И., Чибилёв А.А. Карстовые ландшафты в системе особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Урала // Известия РАН. Серия географическая. 2016. № 6. С. 17–25.
- Клименко В.И., Резван В.Д., Дублянский В.Н. Инженерно-геологическое районирование территории развития горного известнякового карста для обоснования защитных мероприятий. 1991. Сочи: ПНИИИС, 116 с.
- Кузнецова И.А., Мухина Н.С., Скурыхина Е.С. Охрана пещер и прилегающих территорий // Пещеры. 2018. Вып. 41. С. 103-106.
- Мавлюдов Б.Р., Коврижных Е.В., Голод В.М. Оценка уязвимости и задачи охраны пещер. Проблемы изучения, экологии и охраны пещер. Киев, 1987, с. 7-8.
- Мазина С.Е. Мохообразные и папоротники в составе ламповой флоры пещер // Юг России: экология, развитие. 2016. т. 11. № 3. С. 140-150.
- Мазина С.Е., Лашенова Т.Н. Экологические и гигиенические вопросы безопасности пещер // Вопросы географии. 2018. № 147. С. 342-362.
- Пещеры и карст: изучение, сохранение, популяризация знаний // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой Международному году пещер и карста (2021-2022 гг.) / сост. Е.В. Шаврина, Е.М. Лускань; отв. ред. Е.В. Шаврина; ФГБУ «Государственный природный заповедник «Пинежский», Архангельский центр ВОО «Русское географическое общество». Архангельск, 2022. 100 с.
- Проблемы изучения, экологии и охраны пещер. Тезисы докладов 5-го Всесоюзного совещания по спелеологии и карстоведению (Киев, октябрь 1987). Гл. ред. И.А. Печеркин. Киев: Институт геологических наук АН Украинской ССР. 1987, 199 с.
- Проблемы экологии и охраны пещер: теоретические и прикладные аспекты. Красноярск: Из-во ООО «Поликом». 2002, 196 с.
- Рекомендации по охране и использованию пещер. Всероссийская общественная организация «Российский союз спелеологов». Ред. И.Н. Бурмак. Красноярск: Из-во ООО «Поликом». 2021, 197 с.
- Шаврина Е.В. Экология пещер европейского севера России: проблемы использования и пути сохранения // Минералогия техногенеза - 2006. Миасс: ИМин УрО РАН. 2006. С. 32-52.

Приложение 1: Карстовые ландшафты и пещеры в некарбонатных породах

Для карстового ландшафта характерны особые формы рельефа, включая пещеры, которые в основном связаны с процессом растворения. Классически, карст был сначала изучен и понят как проявление в карбонатных породах, таких как известняк, доломит и мрамор. Эти породы легко растворяются в кислой воде, и в них возникает большинство пещер и карстовых ландшафтов, известных на Земле. Однако процессы растворения могут также происходить и в некоторых других горных породах при наличии соответствующих условий. Например, эвапоритовые породы (гипс и соль) более растворимы, чем карбонаты и, таким образом, могут также создавать карстовые ландшафты и пещеры. Различные породы, которые содержат кремнезём, такие как кварцит и песчаник, также могут формировать карстовые ландшафты. Хотя эти породы более устойчивы, растворение в богатых кремнезёмом породах происходит вместе с другими нехимическими процессами. Климат может играть главную роль в возникновении пещер растворения в этих породах. Гипс и соль настолько растворимы, что легко разрушаются во влажном климате. Таким образом, карстовые ландшафты в этих эвапоритовых породах могут присутствовать, главным образом, в сухом климате. С другой стороны, кварц более растворим в тёплом климате, и самые крупные карстовые системы образовались в тропиках.

Другие пещеры могут быть созданы полностью механическими (эрозионными) процессами с ограниченной причастностью химических агентов. Эти типично для морских или прибрежных пещер, возникших под действием волн, или пещер засушливых зон, созданных ветром. Другая категория пещер включает полости, созданные совместно с породой, в которой они развиты, такие как лавовые трубы, или полости, возникшие при помощи тектонических процессов (щелевые пещеры). Резюмируя, скажем, что существует много способов возникновения пещер и других карстовых объектов, и они ни в коем случае не ограничены только карбонатными породами. Это важно понимать, чтобы иметь целостное представление о карстовых ландшафтах и пещерах.

Пещеры и карстовые ландшафты в гипсе

Гипс гораздо растворимее, чем известняк и, таким образом, возникает возможность для формирования обширных карстовых ландшафтов и пещер. Однако, как порода, гипс встречается реже на поверхности Земли, чем карбонаты и, таким образом, распространение карстовых процессов и пещер в гипсе более ограничено. В целом, гипсовый карст характерен для сухого климата. Например, национальный парк Вуд-Баффало (Wood Buffalo) в Канаде – объект всемирного наследия, который содержит существенный гипсовый карст в сухом умеренно холодном климате средних широт. Гипсовые пещеры часто образуются в гипсовых слоях, переслаиваемых с другими породами, и, таким образом, имеют ограниченное проявление или его отсутствие, ситуация, известная как «межслоевой карст». Некоторые из самых протяженных в мире пещер, таких как лабиринтовые пещеры Западной Украины, развиты в относительно тонких слоях гипса.

Относительно немного гипсовых пещер было приспособлено для массового туризма, самые известные, вероятно, пещеры Сорбас (Sorbas) в Испании. Гипсовые пещеры и карстовые ландшафты, во многих отношениях более хрупкие, чем карбонатные. Твердость гипса довольно низкая, из-за чего он может легко повреждаться. Гипсовые натёки менее распространены и одинаково хрупки. Поскольку эти пещеры образуются, главным образом, в засушливых зонах, они имеют ограниченный дренаж, что приводит к формированию галерей с низкой энергией, и ограничивает восстановление после внешних воздействий. Низкая механическая стабильность гипсовых пород проявляется в относительно маленьких размерах галерей пещер. Самые протяжённые гипсовые пещеры обычно содержат, главным образом, небольшие галереи, и представляют собой обширные лабиринты, такие как в пещере Оптимистическая в Украине длиной 257 км. Обрушение пещер в гипсовых слоях обычно приводит к появлению воронок на поверхности. Быстрое развитие галерей в гипсе может также привести к техническим проблемам.

Пещеры и карстовые ландшафты в соли

Соль – растворимая горная порода, но растворяется намного интенсивнее, чем гипс и известняк, и, таким образом, быстро уничтожается. Пещеры и карстовые ландшафты в соли сохраняются только в очень засушливом климате. Самая засушливая пустыня Атакама в Чили, район пустыни горы Седом (Sedom) в Израиле и остров Кешм (Qeshm) в Иране – главные примеры. Большая часть примеров, приведённых для гипсовых пещер, может также быть применена для соли, хотя пещеры в ней намного меньше (самая протяжённая пещера Малхам (Malham) в Израиле длиной около 10 км). Солевая порода довольно мягкая, не может выдержать большие пролёты не разрушаясь, и из-за сухого климата испытывает недостаток в активном дренаже. Солевые поверхности обычно абразивные, но при этом рыхлые. Солевые натёки часто присутствуют, но очень восприимчивы к повреждениям. Расположение в труднодоступной малонаселенной местности способствует сохранению этих пещер.

В Иране часть солевых пещер острова Кешм (Qeshm), который является глобальным геопарком ЮНЕСКО, открыты для туризма, также как пещеры, расположенные около Сан-Педро-де-Атакама (San Pedro de Atacama) в Чили, хотя не было плана адаптации или управления в последнем случае. Обширные пещеры горы Седом (Sedom) были открыты для приключенческого туризма и привлекают несколько сотен посетителей в год.



Солевые кристаллы в пещере, гора Седом (Sedom), Израиль. Фото: Rainer Straub.



Вид снизу вверх в глубокой естественной шахте, образованной в галите, пещера Колонел (Colonel), гора Седом (Sedom), Израиль. Фото: Rainer Straub.

Пещеры и карст в богатых кремнезёмом породах

Богатые кремнезёмом породы, такие как песчаник, кварцит или даже некоторые магматические породы, такие как гранит, могут быть объектом растворения. В этих породах, в отличие от карбонатов, растворимость увеличивается с ростом температуры и, таким образом, для растворения благоприятен тёплый тропический климат. Из-за более низких скоростей растворения необходимо, чтобы процесс формирования полостей происходил в течение длительного времени. Древние ландшафты, которые развились при более устойчивых тектонических условиях, обладают соответствующими условиями для появления этого типа пещер. Пещеры растворения в богатых кремнезёмом породах широко распространены во многих областях Южной Америки (главным образом, в Бразилии и Венесуэле), Африки, Австралии и Азии (Индия и Таиланд). В Южной Америке, потому что кварциты являются древними (Средний Протерозой) и химически стойкими, они формируют высоко поднятые плато.



Пещера Ароэ Яри (Aroe Jari) в песчаниках в национальном парке Шапада-дус-Гимарайнш (Chapada dos Guimarães), Бразилия. Фото: Csaba Egri.

Пещеры в кварцитах и песчаниках протяженностью в несколько километров были картографированы и изучены, наибольшие располагаются в объекте Всемирного наследия национальном парке Канайма (Canaima) юго-восточной Венесуэлы. В Бразилии эти пещеры образовались в нескольких горных областях в восточной части страны, так же как в районе низменности бассейна Амазонки. Эти пещеры представляют новую область исследования, и многие районы остаются перспективными для их поиска. Есть обширные районы карстовых ландшафтов и пещер в протерозойских песчаниках северной Австралии с самыми известными в национальном парке Пурнулулу (Purnululu) (объект Всемирного наследия), Кимберли Западной Австралии и национальном парке Какаду (Kakadu) в Северной территории.

Кварциты и песчаники – породы, которые имеют зёрна кварца, соединённые кремнистым цементом или без него. Также могут встречаться конгломераты, состоящие из фрагментов богатых кварцем пород, которые соединены богатым кварцем цементом. Химическое выветривание этих пород первоначально разъединяет зёрна, процесс, известный как аренизация. В результате коренные породы в этих пещерах становятся очень рыхлыми. В государственном парке Ибитипока (Ibitipoca) в юго-восточной Бразилии частое прохождение туристов через узкие участки в пещере Бромелес (Bromélias) 2,7 км длиной сильно изменило профиль некоторых галерей. Обрушения со сводов галерей, также вызванные туристами, неосторожно касающимися неустойчивых элементов пещеры, привели к её закрытию для туристов. Очень рыхлая поверхность породы, кажется, стимулирует вырезать надписи на стенах пещер. В нескольких пещерах в песчаниках известны обширные граффити на стенах.

Пещеры в богатых кремнезёмом породах могут быть прибежищем разнообразной троглобионтной фауны; например, есть две разновидности сомов, приспособленных к пещерам в национальном парке Чапада Дамантина (Chapada Diamantina)

Diamantina) в северо-восточной Бразилии. Эти пещеры в значительной степени лишены эффектных натёков, обычных в карбонатных породах. Однако многие пещеры Южной Америки регулярно принимают туристов, хотя в настоящее время ни одна из них не была должным образом приспособлена для массового туризма с искусственным освещением и запланированными маршрутами. Планы управления пещерами были одобрены для нескольких из них, таких как пещера Салтире (Saltire) в Диамантине (Diamantina) в юго-восточной Бразилии, и эти документы признают хрупкую природу пещер и пределы посещения для больших и более доступных их частей. Кварцит и песчаник являются обычными горными породами и имеют ограниченную экономическую ценность. Кроме того, из-за бедных песчаных почв, связанных с этими ландшафтами, и частого высотного местоположения, использование человеком этих территорий в целом довольно редкое явление. Это ограничивает посещение людей и благоприятно для охраны пещер. Из-за живописных видов, присутствия водопадов и легкости присвоения статуса, многие такие области получили статус охраняемых единиц местного и национального уровней.



Зал тысяч колонн в кварцитовой пещере Ауян тепуй (Auyan tepui) объекте Всемирного наследия национальном парке Канаима (Canaima), Венесуэла. Фото: Vittorio Grobu.

Пещеры в железорудных формациях

Пещеры в железорудных формациях были сначала зарегистрированы в спелеологической литературе в 1960-х гг., но попали в центр внимания с 2014 г. при значительном расширении сети железных рудников из-за возросшего мирового потребления металла. В настоящее время в железорудных формациях были выявлены тысячи пещер, прежде всего в Бразилии, но также в Австралии и Африке. Хотя пещеры имеют небольшие размеры, редко превышающие 100 м в длину, они содержат замечательную пещерную фауну, которая населяет не только сами пещеры, но также и трещинную пористость пород. Сотни новых троглобионтных видов в них были недавно зарегистрированы.

Оригинальная, не подверженная выветриванию порода железорудной формации, известная как полосчатая железорудная формация, включает переслаивающиеся слои кварца и железа. Железо является ещё более химически стойким, чем кварц, таким образом, сначала выщелачивается кварц, что приводит к появлению железной руды высокого качества. Генезис пещер связан не только с химическими процессами, но также и со сложным взаимодействием геомикробиологических механизмов, в которых железоредуцирующие бактерии преобразовывают нерастворимое Fe(III) в растворимое Fe(II). Поскольку эти пещеры обычно связаны с залежами железа высокого качества, они стоят перед экономическим давлением горной промышленности, поскольку обычно нет никаких других альтернатив для извлечения железа. Несколько месторождений железорудных формаций с пещерами были законно выработаны в Бразилии, приводя к существенной экологической компенсации, связанной с разрушенными пещерами, такими как новые национальные парки, финансирование исследований, публикации. Однако, из-за ограниченного распространения этих пород, и факта, что большинство содержащих железо районов было уже включено в планы горной промышленности,

большая часть этой компенсации была применена к пещерам в других породах, что привело к дисбалансу в единицах охраны.



Пещера в железорудной формации, южная гряда Эспинхасо (Espinhaço), Бразилия. Фото: Luciana Alt и Vitor Moura.



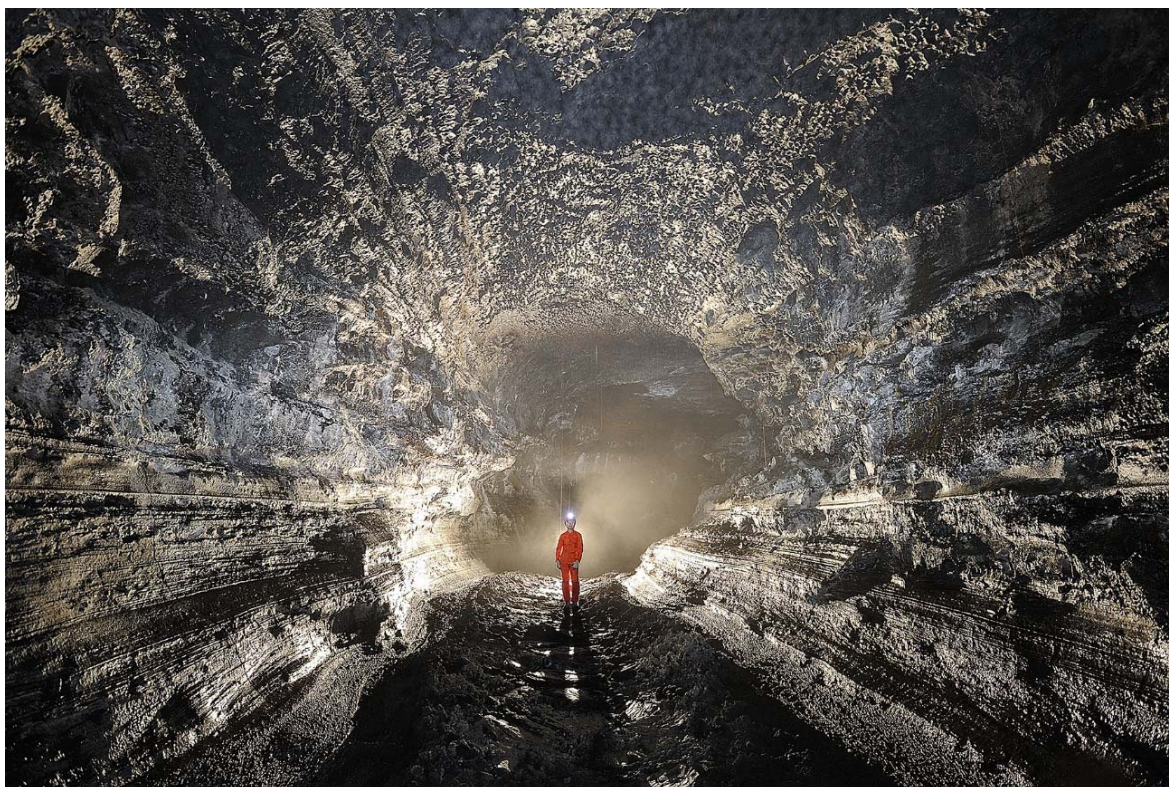
Пещера в железорудной формации с обнажениями канга (canga — конгломераты, богатые железом) в своде и полосчатой железорудной формации в стенах. Южная гряда Эспинхасо (Espinhaço), Бразилия. Фото: Luciana Alt и Vitor Moura.

В Австралии полное разрушение археологического участка, связанного с пещерой в железорудной формации, привело к сильным общественным протестам. Участок ущелья Юукан (Juukan) содержал археологические материалы, связанные с занятиями людей, возрастом 46 тыс. лет назад, но был полностью разрушен добычей. Возникла сильная реакция от коренных народов Пууту Кунти Куррама (Puutu Kunti Kurrama) и Пиникюра (Pinikura), так же как от экологических групп. Последовавший парламентский запрос выдвинул на первый план проблему несоответствия как государственных, так и федеральных законов о защите наследия. В настоящее время и другие участки в районе находятся под угрозой разрушения из-за ранее одобренных действий горной промышленности согласно этому законодательству.

Пещеры в железорудной формации в значительной степени лишены эффектных натёков, и их внутренняя морфология, включая узкие галереи, не делает их привлекательными объектами для туризма. Из-за этого они были в значительной степени проигнорированы исследователями пещер, хотя их важность была выдвинута на первый план при экологических консультациях. Только несколько таких пещер регулярно посещаются, и ни у одной нет надлежащих планов управления и инфраструктуры. Некоторые пещеры были надолго сохранены в Бразилии вместе с буферной зоной. Многие из этих пещер, однако, расположены в пределах добывающих участков, таким образом, является важной поддержка их неприкосновенности. Поскольку немного известно об этих пещерах, особенно о подвижности и распространении пещерной фауны в пределах пористых пород, не ясно, как эффективно защитить их экосистемы.

Некарстовые пещеры

Происхождение многих пещер не связано с преобладанием химических процессов, но вместо этого они сформированы другими геологическими агентами и механизмами. Из-за отсутствия (или незначительной роли) процессов растворения эти пещеры обычно не принадлежат к классическому карстовому ландшафту. Типичные карстовые черты, такие как воронки и карры, обычно отсутствуют. Такие ландшафты иногда объединяются под несколько сомнительным определением «псевдокарста». Однако у этих некарстовых пещер могут быть значительные научные и эстетические ценности.



Слоистость лавы в пещере Казамура (Kazumura), Гавайи, США. Это комплексная пещера со многими входами расположена на склоне вулкана Килауеа (Kilauea) и в настоящее время является самой протяженной (65,5 км) и самой глубокой (1100 м) лавовой трубой в мире. Фото: Philippe Crochet.

Некоторые пещеры могут быть сформированы синхронно с породой, в которой они находятся. Это типично для лавовых труб, в которых у лавы, текущей под гору после извержения, на внешних границах контакта с атмосферой или основанием происходит затвердевание, в то время как внутренняя часть лавы остаётся жидкой и продолжает течь. Как только поступление лавы из очага прекращается, из длинной трубы, следующей уклону рельефа, вытекает вся лава. Это и есть вулканическая пещера. Эти пещеры распространены в активных вулканических областях всего мира, и некоторые из

них были оборудованы для туризма. В Ланзароте (Lanzarote), Канарские Острова, Испания, лавовая пещера Хамеос де Агуа (Jameos de Agua) является одной из таких, открытой для массового туризма. У лавовых труб есть свойственная геологическая и биологическая ценность, и хотя многие из таких пещер геологически молоды (с максимальным возрастом несколько сотен тысяч лет), они были колонизированы и содержат богатую фауну, приспособленную к пещерам. Лавовые пещеры имеются в одиннадцати глобальных геопарках ЮНЕСКО и четырёх объектах Всемирного наследия ЮНЕСКО: Галапагосы, Эквадор; Рапа Нуи (Rapa Nui), Чили; вулканический остров Джею (Jeju), Южная Корея; и Гавайский Национальный парк вулканов, США.

Пещеры могут также образоваться в известковом туфе, который иногда называют травертином – хотя этот термин лучше всего подходит для отложений из термальных вод. Известковый туф и травертин – обе породы, сформированные осаждением карбоната кальция, обычно в источниках или сразу вниз по течению от них. Вместе с лавовыми пещерами пещеры в известковом туфе первично сформированы в то же самое время, как формировалась порода. Большинство из пещер имеют длину и ширину всего в несколько метров, хотя некоторые из них более протяжённые. В Европе есть, по крайней мере, семь туристических пещер в известковых туфах, самой протяжённой из них является пещера Ольги (Olga's) в Хонау (Honau), Германия (длина 170 м).

Пещеры, образованные, главным образом, тектоникой, представляют собой увеличенные трещины, и их находят во многих областях всего мира. Эти пещеры иногда упоминаются как щели или трещинные пещеры. Они наиболее распространены в более холодном климате и в тектонически активных областях, где растворение – незначительный процесс, таких как Тибетское Плато и Гренландия. Эти небольшие пещеры могут представлять большой биологический интерес и содержать древние натёки. Самая глубокая кварцитовая пещера в мире, пещера Сентенарио (Centenário) в юго-восточной Бразилии, включает глубокие трещины, открытые на поверхности плато, сужающиеся до непроходимых размеров на глубине 484 м.

Пещеры, созданные эрозионными процессами, многочисленны по всему миру и могут образоваться в нескольких типах горных пород. Морские или прибрежные пещеры образуются эрозионным действием волн. Превосходные примеры таких пещер были встречены на побережье Калифорнии, США, и на западном побережье гряды Вэйтакере (Waitakere), Новая Зеландия.

Одно хорошо известное место – Фингалова пещера недалеко от берега Шотландии, посещаемая туристами в течение многих столетий и вдохновившая Мендельсона на написание одной из своих симфоний. Ветер может образовать пещеры, особенно в «мягких» породах, таких как песчаник в пустыне. Округлые мелкие впадины различных размеров, известные как тафони (*tafoni*) часто встречаются в гранитах, песчаниках и в некоторых метаморфических породах. Они, кажется, образованы комбинацией механических, тектонических и химических процессов. Рытье грунтов животными, включая вымерших броненосцев, привело к возникновению пещер более 1 км длиной, как наблюдается в бразильском бассейне Амазонки. Эрозия обнажений меандрирующими речными потоками может привести к образованию пещер. Когда вода может течь внутри неуплотнённых пород или почв, в них могут возникнуть короткоживущие и, главным образом, небольшие пещеры. Они известны как трубы и имеют схожие черты, особенно в засушливых районах. Хорошие примеры связаны с топографией «бедлендов» на американском Западе.

Специфические пещеры развиваются во льду. Эти ледниковые пещеры формируются, главным образом, посредством таяния льда под действием водных потоков и могут находиться как внутри льда, так и на контакте с ложем ледника. Таяние льда происходит в течение лета, когда эти пещеры имеют высокие скорости развития. Тепло, необходимое для таяния льда, может приходить из-за трения между водой и льдом или поступать из внешних источников, таких как вода, подогретая вулканическими процессами. Ледниковые пещеры могут быстро формироваться, особенно ускоренно при изменяющемся климате, что, как полагают, связано с антропогенным воздействием. Много ледниковых пещер, вместе с ледниками, в которых они расположены, сталкиваются с очень неопределённым будущим, так как ледники могут исчезнуть. Ледниковые пещеры стали центром для приключенческого туризма в Исландии.

Хаотическое нагромождение упавших блоков горных пород, прежде всего, расположенных у подножия гор (или связанных с ледниками), может содержать пещеры осыпей. Это – другой пример происхождения пещер, являющихся синхронными с отложениями, в которых они находятся. Пещеры осыпей могут образоваться во многих типах пород, но они больше распространены в магматических породах, подверженных отслаиванию. Пещеры осыпей в Нью-Хэмпшире, США, – популярные туристические достопримечательности. В Австралии пещеры осыпей Черных Гор, около Куктауна (Cooktown) в Северном Квинсленде, обширны и содержат большие поселения летучих мышей. Там, где происходит глубокое выветривание, могут сформироваться валунные пещеры. Они отличаются от пещер осыпей тем, что они образованы подповерхностным выветриванием, с основными обломками или валунами, окружёнными дресвой или остатками выветривания. Более позднее удаление поглощаемыми потоками остатков выветривания (реголита), находящегося между валунами, может сформировать обширные пещеры с аморфными кремневыми натёками и интересной биотой. В Австралии есть зарегистрированные гранитные валунные пещеры в Лабертауче (Labertouche), Виктория и Выберба (Wyberba), Квинсленд. В области Галисия северной Испании имеется замечательная валунная пещера с общей протяженностью ходов более чем 1 км.



Морские пещеры в национальном парке Дженнардженту (Gennargentu) на восточном побережье Сардинии, Италия. Фото: Csaba Egri.

В целом, пещеры, возникшие в некарбонатных породах, менее изучены, хотя они могут быть одинаково важными в геологическом и биологическом отношении. Поскольку пещеры часто располагаются в отдалённых областях, обычно имеют небольшие размеры и не содержат объектов высокой эстетической ценности, таких, как большие залы, подземные реки, а также натёки, потому что эти пещеры намного менее посещаемы и менее подвержены вандализму. Исключение – лавовые трубы, поскольку они довольно широко распространены, важны для туризма, и имеется обширная научная литература, посвященная им.

Литература

- Auler A.S., Parker C.W., Barton H.A., Soares G.A. (2019). Iron Formation caves: Genesis and ecology. In *Encyclopedia of Caves* (eds. W. B. White, D. C. Culver, D. C., and T. Pipan). Academic Press: 559–566.
- Frumkin A. (1994). Morphology and development of salt caves. *National Speleological Society Bulletin* 56: 82–95.
- Kempe S. (2019). Volcanic rock caves. In *Encyclopedia of Caves* (eds. W. B. White, D. C. Culver, D. C., and T. Pipan). Academic Press: 1118–1127.
- Klimchouk A. (2019). Gypsum caves. In *Encyclopedia of Caves* (eds. W. B. White, D. C. Culver, D. C., and T. Pipan). Academic Press: 485–495.
- Palmer A.N. (2007). *Cave Geology*. Dayton, Ohio: Cave Books.
- Persoiu A., Lauritzen, S.E. (2018). *Ice Caves*. Amsterdam: Elsevier.
- Wray R.A.L., Sauro F. (2017). An updated global review of solutional weathering processes and forms in quartz sandstone and quartzites. *Earth Science Reviews* 171: 520–557.
- Мавлюдов Б.Р. Внутренние дренажные системы ледников. Москва: Институт географии РАН, 2006, 296 с.
- Максимович Г.А. Карст гипсов и ангидритов земного шара (Геотектоническая приуроченность, распространение и основные особенности) // Общие вопросы карстоведения. М., 1962. С. 108–113.

Приложение 2. Полные Рекомендации

Значение карста и пещер

- (1) Эффективное планирование для карстовых областей требует полной оценки всех их экономических, научных и человеческих ценностей с учетом местного культурного и политического контекста.
- (2) Руководители должны понимать, что в карстовых дренажных системах действия на поверхности приводят к прямому или косвенному воздействию на подземную систему непосредственно в этом месте или вниз по течению.
- (3) Чёткое понимание особенностей пещер и их уникальных достоинств необходимо для оптимизации управления любой карстовой областью.

Особая природа карстовых территорий и пещерных систем

- (4) Сохранение естественного состояния природных процессов, особенно в гидрологических системах, необходимо для защиты и управления карстовыми ландшафтами.
- (5) Важнейшим среди карстовых процессов является каскад углекислого газа (CO_2) от низких концентраций во внешней атмосфере до увеличенного уровня в почвенной атмосфере и снова снижения в галереях пещер. Повышенные концентрации углекислого газа в почвах – результат дыхания корней растений, микробной деятельности и здоровой фауны почвенных беспозвоночных. Этот каскад должен поддерживаться для эффективной деятельности карстовых процессов.
- (6) Потребность в полном управлении водосборными бассейнами особенно важна для карстовых ландшафтов по сравнению с ландшафтами в некарстующихся породах.
- (7) Сохранилось относительно немного древних карстовых ландшафтов, и они должны быть сохранены и поддержаны в первую очередь. В других местах внимание должно быть направлено на исправление любых негативных воздействий прошлых и настоящих методов управления.

Масштабы управления в карстовых областях

- (8) Единый подход к управлению сложной карстовой гидрологической системой (или комплексной интегрированной пещерной системой), вряд ли сможет адекватно защитить текущие геоморфологические и экологические процессы в различных частях системы. Поэтому планирование управления должно принимать во внимание факторы масштаба в карстовой системе.
- (9) Биология большинства пещер в значительной степени зависит от источников пищи, поступающих из поверхностной окружающей среды. Поступление пищи и энергии из внешних источников важно для выживания популяций организмов, а частота и величина поступления энергии в экосистему пещеры необходимы для поддержания популяций организмов.
- (10) Отдельная карстовая гидрологическая система (или пещерная система) может содержать несколько компонентов или типов галерей, от активных водных галерей до бездействующих высокоуровневых галерей, так же как плохо связанных реликтовых галерей. Каждый тип потребует различного предписания управления.
- (11) В пределах карстовой области некоторые участки могут иметь разную чувствительность к загрязнению грунтовых вод. Поэтому необходимо комплексное планирование использования земель с целью охраны карстовых грунтовых вод.

Рекреационное и приключенческое посещение пещер

- (12) Желательно вести учет и классификацию пещер как основание для контроля и управления. Особенно интересные пещерные объекты должны быть указаны на карте.
- (13) Желательно провести оценку риска для групп пещер, отдельных пещер или отдельных участков в пещерах. Оценивать нужно риск, которому исследователи подвергают пещеры, и риск, которому подвергаются сами исследователи пещер. Необходимо оценить уязвимость каждого типа объекта, чтобы облегчить идентификацию пещер или зон в пределах пещер, которые являются подходящими для определённого вида использования.

- (14) Контроль воздействия на пещеры эффективнее всего осуществлять в виде стратегического планирования с привлечением всех заинтересованных лиц. Соответствующий подход, вероятно, потребует ряда инициатив, в числе которых ключевую роль будет играть политика доступа в пещеры.
- (15) Любой инструктор, предлагающий приключенческое посещение пещер, должен пройти соответствующее обучение и быть способен обеспечить безопасность и в охрану пещер.
- (16) Все посетители пещер должны быть ознакомлены со Спелеологическим кодексом минимального воздействия (MICC) и следовать ему. Если национальные или региональные требования отсутствуют, необходимо разработать специальный кодекс на основе уже опубликованных подобных документов.
- (17) Раскопки (инженерные работы), прохождение и научные исследования пещер в пределах охраняемых областей должны контролироваться через определенные соглашения или на основании выданных пропусков.
- (18) Менеджерам охраняемой области рекомендуется составить план действий на случай, если в пещерах произойдет несчастный случай. План должен быть составлен с участием региональной или национальной спелеологической организации и государственных органов, ответственных за помощь при несчастных случаях и чрезвычайных ситуациях, и должен включать рекомендации по минимизации воздействий на пещеру и окружающую наземную область во время спасательных операций.
- (19) Никакие виды моторизированных транспортных средств не должны быть допущены в необорудованные (дикие) пещеры, равно как эти пещеры не должны использоваться для беговых или иных спортивных мероприятий.

Экскурсионные пещеры

- (20) Действующими экскурсионными пещерами необходимо управлять по принятым стандартам и в согласии с Рекомендациями ISCA, а также настоящими Рекомендациями.
- (21) Прежде, чем переоборудовать естественную пещеру в экскурсионную, необходимо провести полномасштабную оценку её экологической и экономической устойчивости.
- (22) Безопасность должна быть приоритетом номер один для каждой экскурсионной пещеры.
- (23) Пропускная способность конкретной экскурсионной пещеры определяется балансом между обеспечением безопасного, информативного и приятного впечатления от экскурсии и уменьшением воздействия на окружающую среду с учётом экономической целесообразности. Необходимо рассматривать все три эти фактора: впечатления посетителей, воздействие на окружающую среду и прибыльность.
- (24) Необходимо иметь план участка, на котором подробно показаны наземные и подземные особенности территории. С помощью такого плана легче анализировать потенциальное влияние поверхностных работ на пещеру.
- (25) Соответствующая инфраструктура на входе в экскурсионную пещеру необходима для защиты её естественной окружающей среды
- (26) Все инфраструктурные преобразования в действующей или планируемой экскурсионной пещере должны проходить тщательную оценку и внедряться в соответствии с лучшими современными практиками.
- (27) Освещение в пещере желательно разделить на зоны с максимальным упором на те части, в которых находятся посетители. Использование света должно быть минимизировано, чтобы освещать только определенные объекты и поддерживать особую привлекательность, характерный для пещер.
- (28) Эффективное управление экскурсионной пещерой должно быть адаптивным, а значит, опираться на мониторинг. Фауна, микроклимат и концентрация углекислого газа – вот минимальный основной набор показателей, нуждающихся в контроле.
- (29) Менеджеры экскурсионной пещеры должны быть компетентными и в управлении бизнесом, и в охране её окружающей среды.
- (30) Экскурсоводы в любой экскурсионной пещере играют очень важную роль, будучи посредниками между пещерой и посетителями. Гиды должны пройти обучение, понимать ценности и характеристики конкретной пещеры, и уметь доносить их до посетителей.
- (31) Все экскурсионные пещеры должны вести качественную информационно-просветительскую работу, чтобы донести до общественности ценность их окружающей среды.

Приключенческая и туристическая активность на поверхностном карстовом ландшафте

- (32) Пересечённые и отдалённые поверхностные карстовые ландшафты могут содержать в себе ценное геонаследие и неисследованное биоразнообразие. Необходимо исследовать их, прежде чем принимать решение о развитии приключенческих и туристических активностей.
- (33) Инфраструктура, необходимая для развития туристической активности на поверхностном карстовом ландшафте, должна быть подобрана и установлена с учетом минимального влияния на него – и визуально, и в смысле его цельности, а также могла быть без труда демонтирована в будущем, нисколько или почти не влияя на состояние карстового рельефа.

Научные исследования

- (34) Все охраняемые территории с пещерами и карстовым ландшафтом должны развивать направление, связанное с научными исследованиями, включая процедуру подачи заявок и выдачу разрешений на исследования.
- (35) Желаящие провести исследования в пещерах должны продемонстрировать своё знание окружающей среды пещер и положений местного спелеологического кодекса минимального воздействия, или сотрудничать с опытными учёными, которые знают пещеру и гарантируют приверженность кодексу.
- (36) Для тех пещер, которые имеют план управления, должна быть секция по исследовательской активности.
- (37) Для всех исследователей, работающих на охраняемых территориях в пещерах или в карстовых областях на поверхности или под землёй, необходимо тщательно оценить свой проект на предмет потенциальных выгод и рисков повреждения окружающей среды или культурных ценностей.
- (38) Особое внимание следует уделить методам, гарантирующим минимальный отбор образцов фауны, натёков и отложений, а исследователи должны публиковать результаты в форме, понятной широкой общественности. По завершении проекта исследователи должны демонтировать всё оборудование и в случае необходимости обеспечить восстановление повреждённого участка.

Сельское и лесное хозяйство

- (39) Сельскохозяйственная деятельность может вызвать существенные неблагоприятные воздействия на карстовые геосистемы. Менеджеры охраняемой области должны: (а) обращать особое внимание на любые предложения по изменению в землепользовании, и (б) давать рекомендации о соответствующем типе сельского хозяйства и специфических условиях на территории для минимизации воздействия на количество и качество воды.
- (40) При землепользовании пахотные земли требуют осторожного управления почвой для минимизации эрозионных потерь и изменений свойств почвы, таких как аэрация, стабильность почвенных агрегатов и содержание органических веществ, а также для поддержания благоприятной почвенной биоты. Пастбищные угодья требуют управления для поддержания растительного покрова, и особое внимание следует обратить на уровень пастбищной нагрузки. Поскольку через карстовые воронки происходит точечный сток воды, нужно следить, чтобы они оставались в своём естественном состоянии, и никогда не должны заполняться или использоваться для захоронения отходов.
- (41) Везде, где возможно, буферные зоны должны быть установлены вокруг областей сконцентрированного стока, таких как поглощаемые потоки, карстовые воронки или другие естественные входы, поскольку они могут служить каналами для попадания загрязнителей и загрязняющих веществ в подземную карстовую систему. В буферных зонах не должна происходить вспашка земли, и должен поддерживаться сплошной растительный покров, чтобы отфильтровывать любые взвеси в стоке с вспаханной земли. В буферных зонах лесов важно сохранение и потенциальное улучшение местной растительности.
- (42) Должен быть налажен мониторинг за количеством грунтовых вод, извлечённых для орошения. Должен максимально использоваться сбор дождевой воды.
- (43) Что касается качества воды, нужно препятствовать использованию пестицидов и гербицидов, если только это не единственная возможность для борьбы с вредителями и сорняками. Использование удобрений должно быть по возможности сокращено или переведено на применение натуральных. Необходимо следить за буферными зонами областей концентрированного стока, и применение химикатов не должно происходить в то время, когда почвы насыщены влагой или близки к насыщению, и есть риск внесения химикатов поверхностными потоками в карстовые системы.
- (44) Прежде чем проводить лесохозяйственные мероприятия в карстовых областях, необходимо инвентаризировать и нанести на карту область, оценить её чувствительность к изменениям (или уязвимость) и разработать подходящие предписания по управлению. Следует уделить внимание предварительному анализу типа и масштаба лесохозяйственной деятельности в пределах определённого карстового водосбора, а также последующему мониторингу, чтобы убедиться, что все предписания выполняются, а чувствительные карстовые области находятся под защитой.

- (45) Естественные леса, выросшие на карстовых ландшафтах, включая зрелые деревья и перестойный лес, не должны подвергаться сплошной рубке, заготовкам древесины или любому антропогенному воздействию. Для таких лесов особенно важно природоохранное управление, чтобы сохранить экосистемные преимущества природной среды поверхностного и подземного карстового ландшафта.
- (46) В областях, где естественный лес был срублен и заменён другими видами, менеджеры должны запланировать замену чужеродных видов типом лесопосадок, который лучше всего приспособлен к экологическим условиям этого объекта.

Добывающая промышленность

- (47) Необходимо препятствовать открытию новых шахт или карьеров в охраняемых карстовых областях, если нельзя показать, что нет никакого альтернативного источника этих полезных ископаемых, а сами ископаемые дефицитны или имеют высокую экономическую или стратегическую ценность.
- (48) Любое предложение о новой шахте или карьере в карстовой области должно подлежать детальной экологической оценке, которая учитывает особенности района и его границ, а также возможность удалённого воздействия через поверхностные и карстовые грунтовые воды.
- (49) Экологическая экспертиза должна описать и оценить ценность пещер, карстового рельефа и экосистем, а также наличие альтернативных участков для добычи с менее серьёзными воздействиями. В случае отсутствия таких участков должна быть тщательно разработанная охраняемая буферная зона вокруг важных пещер и карстовых объектов, чтобы защитить целостность экосистемы пещер, так же как непрерывность гидрологических процессов.
- (50) Если строительство и разрушение карстовых объектов неизбежны, необходимо провести описание и по возможности переместить части объекта для научных исследований (например, натёки и отложения для палеоэкологических исследований).
- (51) Если добыча разрешена, должна иметься хорошо разработанная система защиты окружающей среды и протокол мониторинга условий во время работы и эффективности системы охраны, чтобы при необходимости можно было вносить в неё изменения. Должен также быть разработан детальный план закрытия объекта добычи, включающий надлежащее восстановление и долгосрочный мониторинг, а также заложенное финансирование для закрытия.

Развитие и инфраструктура

- (52) Все технико-экономические обоснования для строительных проектов в карстовых областях должны включать тщательное изучение запланированного местоположения, детальную экологическую экспертизу и размер буферной зоны. Там где возможно отодвинуть проектные или городские структуры от карстовой области, это может стать экономически и экологически положительным решением.
- (53) Должны быть разработаны и внедрены правила, регулирующие утилизацию атмосферных, жидких и твердых отходов, произведённых во время и после строительства. Эти правила должны применяться для всей карстовой зоны, которая включает атмосферу, почву, эпикарст и верхнюю зону карстовых водоносных слоев.
- (54) Должны быть разработаны и приняты строительные нормы и правила для карстовых областей наподобие тех, которые действуют в отношении землетрясений или областей с паводками. Городское зонирование в карстовых областях должно учитывать специфику и хрупкость последних.
- (55) На местном, региональном и национальном уровнях необходимо внедрить прочную научно обоснованную законодательную базу планирования.
- (56) Необходимо развивать образовательные инициативы для информирования землевладельцев или городских жителей о хрупкой природе карстовых территорий, особенно в менее развитых странах.
- (57) На охраняемых территориях инфраструктура должна быть сведена к минимуму и по возможности располагаться вдали от пещер и карстовых объектов.
- (58) Надлежащий план управления охраняемой территорией должен тщательно взвешивать все «за» и «против» возведения зданий в пределах области и стремиться к защите окружающей среды и посетителей вместо того, чтобы обеспечить лишний комфорт. Не следует поощрять крупные инфраструктурные проекты в пещерах, если их присутствие не объясняется необходимостью.
- (59) С опасными материалами следует обращаться очень осторожно и должным образом регулировать, чтобы минимизировать выбросы. Лица, принимающие первые меры реагирования после инцидентов с опасными материалами, должны быть обучены конкретным методам работы в карстовых областях.

- (60) Опасные вещества, будь это бензин или другие виды топлива, растворители, сточные воды или другие опасные отходы, никогда не должны смываться под землю. Исследование грунтовых вод и восстановление являются чрезвычайно трудными и дорогими. В максимально возможной степени опасные вещества должны быть локализованы и удалены с поверхности. Более детальные исследования потенциального воздействия на окружающую среду должны быть выполнены соответствующими профессионалами по работе в карстовых областях.

Водоснабжение

- (61) Необходимо обозначить буферные зоны для карстовых водных источников, таких как родники, скважины и пещеры. На охраняемых территориях должны быть разработаны правила для сельскохозяйственных работ с правильным использованием удобрений и контролем откачки воды. Было разработано несколько планов создания защитных зон вокруг родников, но применение они нашли только в Европе и США.
- (62) Образовательные инициативы должны быть направлены на повышение осведомлённости землевладельцев и обычных граждан относительно специфики карстовых ландшафтов и понимание последствий нарушения правил утилизации твердых, санитарных и опасных отходов.
- (63) Понятная система мониторинга должна быть установлена на главных водных источниках и некоторых скважинах в особо уязвимых и активно используемых системах карстовых грунтовых вод. Во многих местах теперь можно и необходимо внедрить системы дистанционного мониторинга с длительным сроком работы и высокой разрешающей способностью.
- (64) Государства должны рассматривать карстовую воду как хрупкий и исчерпаемый ресурс, и принимать законы для управления и ограничения использования такой воды, а так же выделять финансирование для быстрого устранения последствий загрязнений. В частности, должны быть подготовлены рекомендации по правильному проектированию и созданию канализационных накопителей и местоположению свалок.
- (65) Поскольку о влиянии многих загрязнителей на карстовый ландшафт известно очень мало, необходимо выделить достаточное финансирование для научных исследований в этой области.

Развитие эффективного мониторинга и уменьшения последствий

- (66) Мониторинг – важный инструмент в управлении и охране пещер и карстовых ресурсов, особенно в охраняемых областях. Результаты непрерывного мониторинга могут использоваться для анализа управления и смягчения последствий.
- (67) Приоритет в мониторинге должен быть отдан природным ресурсам с наибольшей ценностью, значением и уязвимостью, а также учитывая степень серьезности предполагаемых и фактических угроз или воздействий.
- (68) Загрязнение грунтовых вод вызывает целый ряд проблем в карстовой области, поэтому усилия должны быть направлены на минимизацию и контроль этого процесса. Такой мониторинг должен быть не регулярным, а событийным, поскольку концентрация растворов и химических загрязнителей обычно самая высокая во время межени, однако, именно во время ливней и наводнений больше всего загрязняющих веществ транспортируется через карстовую систему.
- (69) Необходимо избегать слишком частого мониторинга в уязвимых областях, если только это не вызвано критической необходимостью. Такой частый мониторинг может привести к разрушительным воздействиям. Если возможно, следует применить автоматизированный мониторинг.
- (70) Признавая исчерпаемость природных ресурсов многих карстовых объектов, особенно пещер, грамотное управление должно стремиться восстановить поврежденные объекты до первоначального состояния.
- (71) В максимально возможной степени естественные системы и процессы в карстовых областях должны поддерживаться и восстанавливаться. Если требуется вмешательство, отдайте предпочтение природосберегающим решениям, основанным на природных процессах, а не техническим решениям.

Коренные народы и управление карстовой территорией

- (72) Для любой охраняемой территории, где живут коренные народы, должна быть создана правовая и политическая база для разработки совместной системы управления, в составе которой будет действовать местная рабочая группа. Первичными заинтересованными сторонами и правообладателями являются местные жители и органы управления охраняемой территорией, а второстепенными заинтересованными сторонами являются соответствующие правительственные органы.
- (73) В тех охраняемых карстовых областях, в которых есть коренные народы, должно быть организовано совместное районирование земель, основанное на традиционных знаниях и обычаях. Оно должно в идеале

включать контролируемые зоны использования, где осуществляются некоторые экономические действия, и полностью заповедные зоны, где охрана природы – главная цель.

- (74) Управляющие парков, в которых есть коренные народы, должны подготовить соглашения совместного управления с местными сообществами, написанными на соответствующем языке, чтобы у каждого сообщества была ясно определенная область для её управления и экономических действий.*
- (75) Управляющие парков, в которых есть коренные народы, должны вовлекать местных жителей в управление охраняемой областью. Работа смотрителей и сопровождение туристов в пещерах и на карстовых ландшафтах – основные способы трудоустройства и поддержки местного сообщества. Необходимы программы обучения смотрителей и гидов языку, который, вероятно, используется большинством посетителей, а также истории развития региона.*
- (76) Ключевое требование для продвинутого управления – потребность предоставить корректную и правильную с научной точки зрения информацию посетителям и способствовать проведению соответствующих исследований, не влияющих на окружающую среду.*

Научное электронное издание
Рекомендации по охране пещер и карстовых ландшафтов
Второе издание
Под редакцией Дэвида Гиллисона, Джона Ганна, Августа Аулера и Терри Болгера

Перевод Б.Р. Мавлюдов
Редакторы: В.В. Правоторов и М.Е. Кладовщикова

Утверждена к печати
Учёным советом Института географии РАН
27.03.2025

На обложке
Пещера Се Банг Фай (Xe Bang Fai), Лаос. Фото: Steven Bourne