



## Рекомендации по охране пещер и карста

Вторая редакция



Пещера Ксе Банг Фай (Xe Bang Fai), Лаос

Фото Стивен Боурне (Steven Bourne)



*РУССКИЙ ЯЗЫК*

Перевод с английского на русский: **Bulat Mavlyudov**

# Рекомендации по охране пещер и карста

Вторая редакция

2022

Под редакцией Дэвида Гиллисона (David Gillieson), Джона Гунна (John Gunn), Августо Аулера (Augusto Auler) и Терри Болгера (Terry Bolger)

Участники: Augusto Auler, Terry Bolger, Ferdinando Didonna, Rolan Eberhard, Stefan Eberhard, Hein Gerstner, David Gillieson, John Gunn, Ana Komericki, Denise Matias, Jasmine Moreira, Ana Sofia Reboleira, Geary Schindel, Maria-Laura Tîrlă, Bärbel Vogel and Brad Wuest

Издано Международным Союзом Спелеологов (UIS)  
и Международным союзом охраны природы (IUCN)



Рекомендации по охране пещер и карста

Первая редакция этих Рекомендаций была издана IUCN в 1997 г. Эта вторая редакция была издана Международным Союзом Спелеологов - UIS в 2022 г., при поддержке Международного Союза Сохранения Природы - IUCN. Они синтезировались и редактировались Членами Рабочей группы Пещер и Карста в Мировой Комиссии IUCN в Группе Специалистов по защите Областей геологического наследия.

Взгляды, выраженные в этой публикации, не обязательно отражают взгляды UIS, IUCN или любых других участвующих организаций.

Авторское право:

© 2022 UIS, Международный Союз Спелеологов и IUCN, Международный Союз Сохранения Природы  
Воспроизводство этой публикации в образовательных или других некоммерческих целях санкционировано без предварительного письменного разрешения от держателя авторского права, если источник полностью признан.  
Воспроизводство этой публикации для перепродажи или других коммерческих целей запрещено без предварительного письменного разрешения держателя авторского права.

Рекомендуемое цитирование: Гиллисон Д.С., Гунн Дж., Аулер А., Болгер Т. (редакторы) *Рекомендации по охране пещер и карста, 2е издание*, Постояна, Словения: Международный Союз Спелеологов и Гленд, Швейцария, IUCN. 112 с.

Национальная Библиотека Каталогизации Австралии:

Гиллисон Д.С., Гунн Дж., Аулер А., Болгер Т. (редакторы)

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

Включает библиографическую информацию

Пещеры – сохранение и управление

Карст – сохранение и управление

Фотография на обложке: Стивен Бурне, использовано с разрешения

Расположение и производство: Дэвид Гиллисон и Джереми Гарнетт

## О МСС (UIS)

*Union Internationale de Spéléologie* (Международный Союз Спелеологов или UIS - МСС) является международной организацией для спелеологов. МСС – некоммерческая, неправительственная организация, которая обеспечивает взаимодействие между академическими и техническими спелеологами широкого диапазона национальностей, чтобы развивать и координировать международную спелеологию 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 Сохранения Природы (IUCN). Если требуется, МСС поддерживает международные спелеологические события, усилия государств - членом защитить их пещеры и карстовые особенности, заявления включения в лист всемирного наследия ЮНЕСКО, заявления к правительствам для утверждения карстовых учреждений и исследователей и ученых в их усилиях получить фонды для их проектов. МСС, в партнерстве с 57 государствами - членами и более чем 250 учреждениями и организациями всего мира, объявляет Международный Год Пещер и Карста в 2021-22 гг.

[secretary@uis-speleo.org](mailto:secretary@uis-speleo.org)

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

## О МСИС (IUCN)

*Международный Союз Сохранения Природы* (The International Union for Conservation of Nature – IUCN) (МСИС) является Союзом членом, уникально составленный как из правительственных, так и из гражданских общественных организаций. Он предоставляет общественным, частным и неправительственным организациям знание и инструменты, которые способствуют прогрессу человечности, экономическому развитию и охране природы существовать совместно.

Созданная в 1948 г., МСИС – теперь самая большая в мире и самая разнообразная экологическая сеть, использующая знание, ресурсы и досягаемость больше чем 1400 организаций Участников и около 18000 экспертов. МСИС – ведущий поставщик сохранения данных, оценок и анализа. Широкое членство позволяет МСИС исполнять роль инкубатора и доверительного хранения лучших методов, инструментов и международных стандартов.

МСИС обеспечивает нейтральное пространство, в котором разнообразные заинтересованные стороны, включая правительства, неправительственные организации, ученых, фирмы, местные сообщества, местные организации народы и другие могут сотрудничать, чтобы продвигаться вперед и осуществлять решения экологических вызовов и достигать устойчивого развития.

Работая со многими партнерами и сторонниками, МСИС обеспечивает выполнение большого и разнообразного портфеля охранных проектов во всем мире. Комбинируя научные достижения с традиционным знанием местных сообществ, эти проекты работают, чтобы предотвратить потерю среды обитания, восстанавливать экосистемы и улучшать благосостояние людей.

[www.iucn.org](http://www.iucn.org)

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

# Оглавление

	Стр.
Границы документа	ii
Участники	ii
Благодарности	iii
<b>Природа карстовых систем</b>	
Введение: Карст, пещеры и их охрана	
Карст и растворимость горных пород	
Некоторые ценности карста и пещер	
Специальная природа окружающей среды карста и пещерных систем	
Шкалы управления в карстовых областях	
<b>Человеческая активность на карсте: воздействия и их уменьшение</b>	
Региональное и приключенческое посещение пещер	
Экскурсионные пещеры	
Приключенческая и туристическая активность на поверхностном карсте	
Научные исследования	
Сельское хозяйство и лесоводство	
Добывающая промышленность	
Развитие и инфраструктура	
Водоснабжение	
<b>Управление карстом в охраняемых областях</b>	
Развитие эффективного мониторинга и уменьшение последствий	
Планирование управления для охраняемых карстовых областей	
Вовлечение местных народов в управление карстом	
<b>Заключение</b>	
<b>Дополнительная литература</b>	
<b>Интернет-ресурсы</b>	
<b>Научные ссылки</b>	
<b>Приложение 1: Карст и пещеры в некарбонатных породах</b>	
<b>Приложение 2: Полные рекомендации</b>	

## Границы документа

Эти рекомендации – обновленная и расширенная версия «Рекомендаций по охране пещер и карста», изданных Международным Союзом Сохранения Природы – IUCN в 1997 г. (см. Дополнительная литература). В 2021 г. Международный Союз Спелеологов (UIS) согласился издать вторую версию рекомендаций с IUCN, впоследствии согласившись спонсировать публикацию. Первая версия рекомендаций была, прежде всего, заинтересована в геологическом наследии, и в то время как это остается важным рассмотрением во второй версии, мы также включаем биологические проблемы, связанные с охраной пещер и карста.

Охрана поверхностных и подземных карстовых экосистем особенно относится к Цели 15 из *Повестки дня ООН 2030 г. для Устойчивого развития* (Охрана, восстановление и продвижение устойчивого использования наземных экосистем, рациональное управление лесами, борьба с опустыниванием, и прекращение и полное изменение деградации земель, и прекращение потери биоразнообразия). У этих рекомендаций также есть важность для Цели 6 Устойчивого развития (Гарантия пригодности и жизнеспособное управление водой и очисткой для всех), поскольку ~10% населения в мире получают свое водоснабжение из карста, или с обособленных источников, или из карстовых грунтовых вод. Новые рекомендации основываются и развиваются на *Рекомендациях для геосохранения в Охраняемых и Сохраняемых Областях*, изданных IUCN в 2020 г., определенно рассматривая охрану и сохранение георазнообразия, геонаследия и экологии в карсте и на территории пещер, везде, где они имеются.

Закономерно, что эта публикация появилась в течение Международного Года Пещер и Карста (IYCK) 2021-22 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 пока эта публикация сосредотачивается на третьей из этих тем, наша цель состоит в том, чтобы увеличить понимание чувствительности пещер и карста. Пока было долгожданное увеличение количества пещер и знания о карсте, в то время как первая версия была издана, карст и пещеры продолжают находиться под угрозой антропогенного воздействия по всему миру. Фактически, существуют исключительные, незаменимые и гидрологически, экологически, и культурно важные пещеры и карстовые ландшафты, которые повреждаются или непрерывно находятся под угрозой.

Редакторы и многие участники рекомендаций – члены Рабочей группы IUCN-WCPA Пещер и Карста (CKWG), который является частью Группы Специалистов геонаследия. Другие члены CKWG, члены IUCN SSC Группы Специалистов по Беспозвоночным Пещер и члены глобального сообщества специалистов по карсту проверили эту публикацию. Мы предложили список Дополнительной литературы, полезные интернет-Ресурсы и Научные Ссылки, использованные для создания этого документа. Мы надеемся, что эти рекомендации внесут существенный вклад в знание специальных подходов управления, существенных для эффективной защиты пещер и карста. Рекомендации 1997 г. были «первым шагом» на дороге, и эта вторая версия отражает наше возросшее знание на общем уровне. Вызов теперь направлен на национальные и характерные локальные стратегии, которые будут развиты на карстовых территориях во всем мире.

## Участники:

Дэвид Гуллиесон (David Gillieson), Школа Географии, Земли и Атмосферных Наук, Университета Мельбурна, Клейтон, Виктория, Австралия

Джон Гунн (John Gunn), Школа Географии, Земли & науки окружающей среды Университет Бирмингема, Англия, Великобритания

Августо Аулер (Augusto Auler), Директор Исследования, Carste Ciência Ambiental / Институт Carste, Белу-Оризонти, Minas Gerais, Бразилия

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

Фердинандо Дидонна (Ferdinando Didonna), Участник европейской Комиссии Охраны Пещер ECPC/FSE; Участник IUCN/WCPA Группы Специалистов геонаследия GSG, Италия

Ролан Эберхард (Rolan Eberhard), Подразделение Естественного и Культурного наследия, Отдел Первичной индустрии, Парков, Воды и Окружающей среды, Хобарт, Тасмания, Австралия

Стефан Эберхард (Stefan Eberhard), Директор, Подземной экологии Pty Ltd, Кoningхам, Тасмания, Австралия; помощник компаньона, Университет Нового Южного Уэльса; Почетный Партнер, Западный австралийский Музей

Хейн Герстнер (Hein Gerstner), Менеджер Парка, Мировое Наследие Мулу, Управление Парком Borsamulu Sdn Bhd, мулу, Саравак, Малайзия

Ана Комерички (Ana Komeric̃ki), хорватское Общество Биоспелеологии, Загреб, Хорватия

Денис Маргарет С. Матиас (Denise Margaret S. Matias), Биоразнообразие и Люди, Институт Социально-экологических Исследований (ISOE), Франкфурт на Майне, Германия

Жасмина Кардозо Морейра (Jasmine Cardozo Moreira), Отдел Туризма, Grad Программа Управления Землей, государственный университет Понта-Гросса, Бразилия

Ана София Реболейра (Ana Sofia Reboleira), Отдел биологии животных, факультет Ciências da Universidade de Lisboa, Лиссабон, Португалия

Геари Шиндел (Geary Schindel), Главный Технический Чиновник, специалист водоносного горизонта Эдвардса, Сан-Антонио, Техас, США и президент, Национальное Спелеологическое Общество, США

Мария-Лаура Тирла (Maria-Laura Tîrlă), Отдел Региональной Географии и Окружающей среды, Университет Бухареста,  
Бухарест, Румыния

Барбел Вогел (Bärbel Vogel), президент, немецкая Спелеологическая Федерация; помощник Секретаря, Международный  
Союз Спелеологов – UIS; Секретарь IUCN/WCPA GSG Рабочей группы Пещер и Карста

Брэд Вуест (Brad Wuest), президент, Международной Ассоциации Экскурсионных пещер, Естественные Пещеры Моста,  
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  
Розана Серквенек (Rosana Cerkvenik), Словения  
Фил Чапмен (Phil Chapman), Великобритания  
Мик Дэй (Mick Day), США  
Мартин Эллис (Martin Ellis), Великобритания  
Ханс Фридерик (Hans Friederich), Мальта  
Джереми Гарнетт (Jeremy Garnett), окончательное  
Редактирование, Австралия  
Пол Гриффитс (Paul Griffiths), Канада  
Надя Зупан Хайна (Nadja Zupan Hajna), Словения  
Эко Харионо (Eko Nugroho), Индонезия

Куинг Сик Ву (Kyung Sik Woo), Южная Корея  
Дон Мак Фарлане (Don McFarlane), США  
Жасмин Морейра (Jasmine Moreira), Бразилия  
Джон Парр (John Parr), Лаос  
Энди Спайт (Andy Spate), Австралия  
Тим Стокс (Tim Stokes), Канада  
Джордж Вени (George Veni), США  
Джон Ватсон (John Watson), Австралия  
Ник Уайт (Nick White), Австралия  
Пол Вильямс (Paul Williams), Новая Зеландия

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

Люсиана Альт (Luciana Alt)  
Стивен Бурне (Steven Bourne)  
Филиппе Крошет (Philippe Crochet)  
Роб Извис (Rob Eavis)  
Ксаба Эгри (Csaba Egri)  
Пол Гриффитс (Paul Griffiths)

Витторио Гробу (Vittorio Grobu)  
Питер Хофманн (Peter Hofmann)  
Тони Марсден (Tony Marsden)  
Витор Моура (Vitor Moura)  
Джон Спиес (John Spies)  
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 карст.

Перевод теста рекомендаций на русский язык Б.Р. Мавлюдова.

# Природа Карстовых Систем

## Введение: Карст, пещеры и их охрана

Карст и пещеры были тихими свидетелями развития Земли и роста человеческих цивилизаций. Пещеры и карст сохранили и защитили важные части длинного и бурного геологического прошлого Земли. Их колебания от древних минеральных отложений, долго существовавших океанов и ранних форм жизни, до уникальных организмов, приспособленных к пещерам, остатков вымершей мегафауны и раннего проявления человеческого искусства. Без пещер и карста, такая информация была бы в значительной степени нам недоступна. Карст и пещеры находятся среди самых изысканных и ценных ландшафтов нашей планеты со свойственной туристической и экономической ценностью. Охрана пещер и карста жизненно важна для сохранения нашей истории и истории планеты. Знание карста и пещер является существенным для охраны здорового сосуществования между карстом и нашей цивилизацией, уменьшением и уходом от воздействий на окружающую среду, которые будут, в конечном счете, отражаться на нас. Безопасное и рациональное использование карста и пещер, и как должным образом защитить их и управлять ими, является предметом этой книги. Мы стремились передавать лучшие обновленные глобальные методы, которые доступны для большинства читателей, обеспечивая технические детали, интересные для специалистов.

## Что такое карст?



*Ущелье Карес (Cares) в Национальном парке Пикос де Европа и Биосферном заповеднике ЮНЕСКО, Испания – прекрасный пример голого поверхностного карста в альпийском окружении. Фото Дэвида Гиллисона (David Gillieson).*

Термин «карст» происходит от древнего слова, *karra/gara*, означающего камень, и был сначала использован с научной точки зрения в существующем пограничном районе Словении и Италии, теперь обычно известной как «классический карст». Эта область имеет характерные ландшафты и содержит большие области голого известняка, который был – по крайней мере, частично – обнажен из-за эрозии почвы при чрезмерном использовании пастбищ. Впоследствии, термин карст был глобально применен к множеству ситуаций, у некоторых из которых мало общего с классическим карстом, и для многих из которых характерно небольшое или отсутствие обнаженных скальных поверхностей. Имеются многочисленные, и иногда противоречивые определения карста, но хорошей отправной точкой может стать то, что карстовые области характеризуются особенными ландшафтами и гидрологией, следующей из комбинации высокой растворимости горных пород и подземного движения воды вдоль предпочтительных путей (каналы). Течение грунтовых вод через малые каналы является ламинарным и не может переносить отложения. В течение долгого времени каналы увеличивались растворением; пока они не стали достаточно большими для турбулентного течения (обычно ширина пустот ~10 мм), они известны как каналы или водоводы. Характерные поверхностные ландшафты в карстовых областях включают замкнутые депрессии, такие как карстовые воронки и большие плоскodonные поля. Поглощаемые потоки,



сухие долины и источники также распространены. Управление по охране окружающей среды Соединенных Штатов представило полезный Словарь Пещерной и Карстовой Терминологии (см. Интернет-Ресурсы).



*В отличие от Ущелья Карес (Cares), большей части карста во влажно-умеренной Новозеландской Стране Королей находится ниже толстой мантии вулканического пепла. Большая часть природного леса была удалена и заменена пастбищем. Фото Джона Гунна (John Gunn).*

### **Что такое пещера?**

Пещера – естественно сформированная пустота в земном материале (породах или отложениях), которая является достаточно большой для проникновения человека. Это определение отличает пещеры от искусственных туннелей и других построенных подземных пустот – иногда неправильно называемых пещерами. Минимальное измерение пустоты произвольно, в зависимости от размера человека исследователя, но диаметр 0,3 м – разумное приближение. Произвольная минимальная длина пустоты 5 м также обычно применяется, хотя пещеры короче, чем 5 м могут быть остатками ранее более протяженных галерей, большая часть которых была сокращена эрозией. Как обсуждалось в предыдущей части, карстовые пещеры сформированы растворением и являются частью спектра размеров пустот, которые ранжируются от около 1 мм до десятков метров. Важное различие обычно делается между гипогенными и эпигенными пещерами. Эпигенные пещеры формируются там, где вода спускается с поверхности под действием силы тяжести и растворяет карстовые породы. В случае карбонатных пород растворение происходит благодаря угольной кислоте, образующейся, когда углекислый газ растворяется в воде. Напротив, гипогенные пещеры формируются текущими вверх жидкостями, которые разгружаются в пустотную зону из более низких горизонтов пород и не зависят от локальных поверхностных источников кислой воды. Эти жидкости происходят либо из отдаленных источников (ограничены слабо проницаемыми слоями), или из глубоких источников (обычно геотермальных) и независимы от поступления из перекрывающих или непосредственно прилегающих участков земли. В результате, у большинства гипогенных пещер есть небольшое или полностью отсутствующее поверхностное проявление. Третий тип карстовых пещер формируется там, где карбонатные породы обнажаются на побережье, и растворение происходит на контакте пресной и соленой воды. Их называют боковыми краевыми пещерами (flank margin caves).

В дополнение к карстовым пещерам (образованным растворением), есть множество пещер, сформированных другими не химическими агентами вместе со структурными (см. Приложение 1). В морских областях фактически каждое побережье из прочных пород содержит прибрежные пещеры (морские пещеры), которые в значительной степени сформированы механическими процессами. На суше ветер может способствовать образованию пещер, и подповерхностная механическая эрозия отложений обычно формирует трубы, некоторые из которых могут достигать размеров пещер. Глобально, есть много тысяч вулканических пещер (лавовые пещеры), которые формируются во время эпизодов извержения лавы, и так как многие из них сформированы близко к поверхности, провальные воронки распространены. Пещеры также формируются во льду под ледниками и могут быть посещаемыми, как в Национальном парке Ватнайокул (Vatnajökull) в Исландии. Структурные пещеры, которые формируются во время переотложения, также найдены в известковых туфах и травертине, как наблюдается в Хуанггуошу (Huangguoshu) в Гуйжоу (Guizhou), Китай.



*Пример активной эпигенной пещеры с натёками и обломочными отложениями. Пещера Барадла находится в Пещерах Агтелекского и Словацкого карста – объекте всемирного наследия ЮНЕСКО, Венгрия. Пещера – также Биосферный заповедник ЮНЕСКО и Участок Ramsar. Фото Ксаба Эгри (Csaba Egri).*

### **Охрана пещер и карста**

IUCN определяет охраняемую область как «ясно определенное географическое пространство, ценное, чему-то посвященное и управляемое через юридические или другие эффективные средства, чтобы достигнуть долгосрочного сохранения природы со связанными экосистемными услугами и культурными ценностями». Они подробно остановились на этом, излагая шесть категорий управления и четыре типа управления (см. Интернет-ресурсы). Ландшафты и пещеры особо упомянуты под Категорией III, Естественные памятники или объекты, такие как «области, предписанные для охраны определенного естественного памятника, которым могут быть ландшафты, морские горы, морские пещеры, геологические объекты, такие как пещера, или живые объекты, такие как древняя роща». Ожидается, что поверхностные карстовые ландшафты и пещеры в этом типе охраняемой области были бы хорошо зарегистрированы и явно защищены. Однако, те пещеры и карстовые области, которые присутствуют в каждой из других категорий, возможно, не получают ту же самую степень внимания особенно, если они только являются маленькой частью полной охраняемой области, или цель состоит в том, чтобы защитить другие интересные объекты. Эта проблема происходит всюду по диапазону размеров и типам охраняемой области. Например, организация дикой природы может купить область земли с первичной целью управления флорой и фауной. Если карбонатные породы обнажаются на части этой территории, то, вероятно, там будут карстовые ландшафты и пещеры, которые, возможно, не представляют прямого интереса для владельцев. Это может быть замечено в международном масштабе, где охрана предлагается через четыре защищенных обозначения области Организации Объединенных Наций Образовательную, Научную и Культурную Организацию (ЮНЕСКО), содержащие области карбонатного или эвапоритового карста: Биосферные заповедники (23%), Участки Ramsar (5%), объекты всемирного наследия (WHP) (7%) и Глобальные геопарки ЮНЕСКО (38%). Однако эти числа маскируют много внутренней изменчивости, поскольку некоторые участки являются почти полностью карстовыми (например, Шкоцианские пещеры WHP в Словении, которые являются также участком Ramsar и Биосферным заповедником), тогда как в других большинство участков могут быть некарстовыми, с маленькими областями известняка (например, Тассали н'Аджер (Tassili n'Ajjer) WHP в Алжире). Дальнейшая проблема возникает там, где участок, который содержит пещеры или карст, охраняется, прежде всего, для других объектов; например, несколько WHP, которые содержат пещеры или карст, определялись также из-за их культурного интереса. Важно, чтобы всеми охраняемыми областями, которые содержат карст, определяемый ли IUCN или другими организациями, управляли в манере, которая уважает особую природу карстовой окружающей среды, как описано в этих рекомендациях.

### **Карст и растворимость горных пород**

Главная группа горных пород с высокой естественной растворимостью - карбонаты (известняк, доломит и мрамор) и эвапориты (соль, гипс и ангидрит). При определенных условиях силикатные горные породы достаточно растворимы, так

что они могут сформировать карстовые поверхностные ландшафты и пещеры. Пещеры больше распространены в карбонатных и эвапоритовых горных породах, хотя есть некоторые обширные карстовые области без пещер. В Англии, Великобритания, есть поверхностные карстовые ландшафты, такие как сухие долины и карстовые воронки, и даже некоторые поглощаемые потоки, в областях, подстилаемых меловыми и юрскими известняками. Трассирование грунтовых вод продемонстрировало быстрое течение их к источникам, однако, есть только одна гидрологически активная пещерная система, которая более 50 м длиной.

Там где карбонаты и эвапориты падают вниз под некарстовые породы, циркуляция воды продолжается, и пещеры могут сформироваться. В Кентукки, США, известняк перекрывается песчаниками. Большая часть длины Мамонтовой пещеры, Кентукки, самой протяженной пещеры в мире и объекта всемирного наследия, распространяется ниже этих известняковых перекрывающих пород. В случаях межслоевого карста закрытые депрессии в некарстовых породах (воронки в покровных отложениях) на поверхности вызваны обрушением карстующихся пород в глубине. В другом месте, может не быть никакого поверхностного свидетельства обширных пещерных галерей ниже, с одним из лучших примеров, как Огоф Драенен (Ogof Draenen), Уэльс, Великобритания. Менее чем 15% из 70 км известных галерей ниже областей, где на поверхности обнажаются карбонатные породы, и остающиеся пещерные галереи проходят ниже областей, которые, как полагали бы, не были бы карстом на основе поверхностных ландшафтов.

Эпигенные пещеры сформированы там, где вода спускается с поверхности, и в случае карбонатных пород растворение происходит под действием угольной кислоты, которая сформирована, когда углекислый газ растворяется в воде; эвапоритовые горные породы не требуют кислоты и растворяются в чистой воде. Напротив, гипогенные пещеры сформированы кислыми термальными водами, поднимающимися из глубины. Гипогенные пещеры обычно почти или совсем не проявляются на поверхности. Расположенная под ландшафтом с немногими поверхностными карстовыми формами и только доступная через единственную шахту, сформированную обвалом, пещера Лечугия в Карлсбадском пещерном Национальном парке, объекте всемирного наследия в Нью-Мексико США, простирает пещерные галереи более чем на 242 км с вертикальным диапазоном около 480 м. В некоторых случаях, гипогенные процессы сформировали большие залы, которые впоследствии обрушились, формируя депрессии, которые могут быть несколько сотен метров шириной и глубиной, как наблюдается с обруками (*obruks*) Турции, которые создают углубления на иначе плоском и невыразительном известняковом плато.

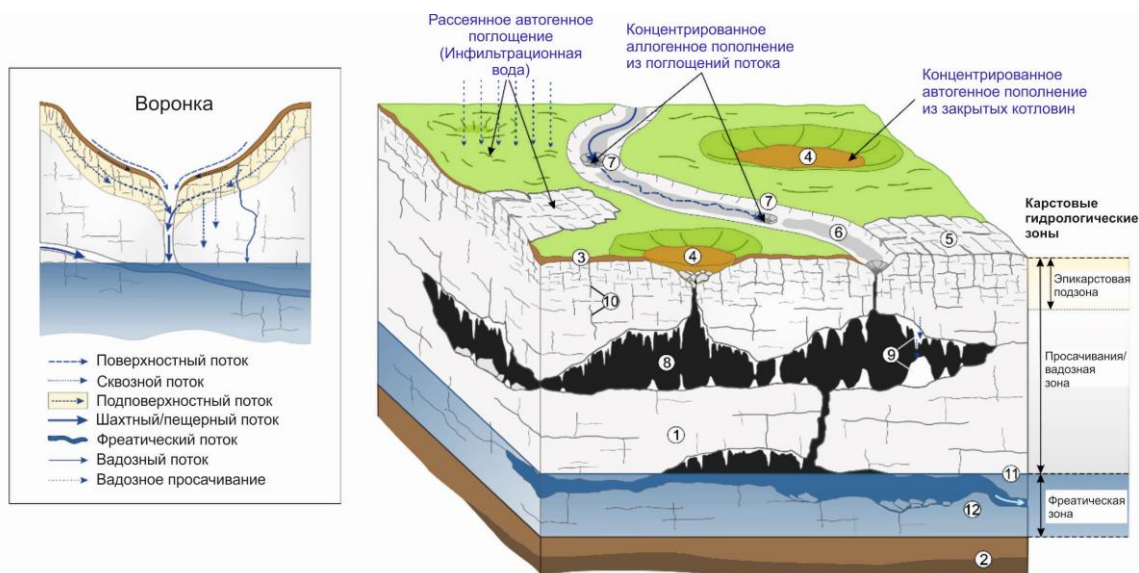


Схема карстовой гидрологической системы. Диаграмма, выполненная Марией-Лаурой Тирла и Джоном Гунном; содержание вставки, измененное из Gipp (1985). Ключ: 1 – Карбонатная коренная порода (например, известняк); 2 - Непроницаемая коренная порода; 3 - Почвенный покров; 4 - Карстовая воронка; 5 - карры; 6 - Сухая долина; 7 - Понор (поглощение); 8 - Пещера; 9 - натеки; 10 - трещины; 11 - уровень Грунтовых вод; 12 - сифон (заполненный водой водовод).

В качестве резюме, как обычно думают, карстовые ландшафты имеют характерные формы на поверхности (карстовые воронки, сухие долины, карры) с пещерами ниже. Однако есть области с карстовыми формами на поверхности, но которые испытывают недостаток в пещерах, и другие области с пещерами в глубине, но которые испытывают недостаток в поверхностных карстовых формах, или у которых есть только межпластовые карстовые формы.

Самые очевидные карстовые наборы происходят там, где карбонатные и эвапоритовые горные породы обнажаются на поверхности на обширных площадях (открытый карст), но во многих областях они покрыты неуплотненными

отложениями, накопленными во время эволюции ландшафтов. Их называют покрытым карстом в отличие от захороненного карста, где ландшафт развился, но был тогда заполнен и захоронен отложениями или более молодыми породами. В большинстве случаев, эти захоронения уменьшают перенос жидкостей и отложений, и эти ситуации могут быть описаны как ископаемый карст или палеокарст. Галереи с неактивными потоками иногда называют «ископаемыми», хотя это общее использование не вполне корректно. Эти галереи - просто «реликтовые», поскольку в большинстве случаев они всё ещё развиваются как следствие входов просачивающейся воды, которая питает натёки – спелеотемы (общий термин для всех минеральных отложений, сформированных в пещерах) или механического разрушения кровли или стен галереи.



*Впечатляющие гипсовые спелеотемы в Танцале Люстры, Пещера Лечугия (объект всемирного наследия Карлсбадские пещеры), Нью-Мексико, США. Лечугия – гипогенная пещера, где к более чем 200 км галерей получают доступ через шахту. Фото Рейнер Страуб (Rainer Straub).*

## **Некоторые ценности карста и пещер**

*В дополнение к важности примеров сохранения карстовых форм рельефа и ландшафтов как часть стратегии охраны глобального биоразнообразия и георазнообразия, у карстовых областей обычно есть экономические, научные и культурные ценности. Может быть разнообразие требований, у которых есть потенциал, чтобы находиться в противоречии друг с другом.*

Карстовые ландшафты содержат много природных ресурсов и оказывают ценные экосистемные услуги, такие как пресная вода для потребления людьми; водные экосистемы и сельскохозяйственная ирригация; большое биоразнообразие и на поверхности, и в подземной окружающей среде; ландшафты и пещеры с высокой региональной и культурной ценностью; и почвы, которые обеспечивают основу для сельскохозяйственного производства. Карстовые территории действуют как естественные поглотители углекислого газа (CO<sub>2</sub>), таким образом, помогают смягчить изменение климата. Все эти ресурсы и экосистемные услуги нельзя считать изолированными, так как они сильно взаимосвязаны. Из-за этих сложных механизмов обратной связи у воздействий на изолированные элементы карстовой экосистемы могут быть неожиданные воздействия на другие элементы или даже на всю экосистему.

Карстовые водные ресурсы были важны для человечества в течение тысяч лет, включая для потребления человеком, в сельском хозяйстве (ирригация и аквакультура) и, в течение последней сотни лет, в выработке гидроэлектрической энергии. Поскольку карстовые источники имеют тенденцию быть большими и более надежными, чем таковые из других горных пород, таким образом, структура поселений была под существенным влиянием этих водных источников. До 450 г. до н.э. карстовые источники использовались для ирригации в Китае, в то время как люди майя Центральной Америки сделали широким употребление пещер и ценотов (заполненные водой карстовые воронки). В 2019 г. считалось, что около 10% населения в мире, около 700 миллионов человек, получали пригодное для питья водоснабжение из карста или из дискретных источников, или через буровые скважины. Наибольший потребитель карстовой воды – Китай, приблизительно со 150 миллионами человек, зависящими, прежде всего, от карстовых грунтовых вод. Соединенные Штаты – второе по величине потребление, приблизительно с 50 миллионами человек, главным образом в сельских

районах. Водоносный горизонт Эдвардс, Техас, США, снабжает несколько миллионов человек, включая большие города, такие как Сан-Антонио.

Существенная инфраструктура обязана транспортировать карстовую грунтовую воду от источников пользователям. Более чем 2000 лет назад одиннадцать длинных акведуков поставляли ключевую воду в старый город Рим на расстояния от 16 до 91 км. Наибольшая карстовая система водоснабжения в Европе та, которая снабжает 1,7 миллиона граждан в Вене, Австрия, где первый из двух главных акведуков был открыт в 1873 г. В течение XX и XXI столетий подобные главные инженерные работы были предприняты во многих карстовых областях, особенно в Динарском карсте Хорватии, Боснии и Герцеговины, и в Китае. Вверх по течению от источников, карстовые области характеризуются отсутствием поверхностной воды, которая ограничила развитие. В тех областях, где у известняков есть относительно высокая пористость и проницаемость, буровые скважины могут обеспечить хорошую поставку (например, в Меловых известняках в Англии), но во многих известняках считалось, что есть только 1-2%-ый шанс буровой скважины стать производительной. И индустриальные и сельскохозяйственные загрязнители могут быть перенесены быстро через подповерхностные карстовые сети, делая эффективное управление использованием земли критически важным.

Карстовые области продолжают использоваться, как источник известняка для производства цемента, с увеличивающимся темпом развития городов, создающего большое требование на известняк высокой чистоты, и как агрегат. Известняк также используется для сельскохозяйственной извести, как флюс для производства железа и стали, и как наполнитель в краске, пластмассах и фармацевтических отраслях промышленности. У карьерных работ есть потенциал для разрушения пещер и их содержания, уничтожить пещерные организмы и ухудшить качество воды, однако, с осторожными воздействиями управления это может быть минимизировано. Разработка селитры (нитрат калия) в пещерах Америки (прежде всего, в США и Бразилии) было существенным для производства пороха в течение XVIII и XIX столетий. Тысячи пещер содержали свою удаленную почву, богатую нитратом, и португальская корона даже издала инструкции относительно того, как восстановить выщелоченную почву, помещая ее назад в пещеры.

Горная промышленность пещерных отложений гуано для удобрений была международным явлением. До введения искусственных или химических удобрений естественные или органические удобрения широко использовались из источников, таких как гуано летучих мышей и птиц. Гуано птиц добывалось на Тихоокеанских островах, таких как Науру и Остров Рождества в Индийском океане, и гуано летучих мышей все еще добывается в некоторых пещерах Техаса, как источник органического удобрения. В пещере Ниах (Niah), Борнео, гуано пещерных саланганов все ещё добывается для удобрений, так же как более прибыльные гнезда саланганов на стенах. Есть широко распространенное извлечение полезных ископаемых, которые принимают карстовые ландшафты, такие как глинозем, свинец-цинк, и уголь в Китае, в то время как в области Чапада Диамантина (Chapada Diamantina), Бразилия, была обширная добыча алмазов в пещерах в XIX и в начале XX столетиях. Натёки, особенно сталагмиты и сталактиты, также брались незаконно для продажи как сувениры.

Карстовые ландшафты обычно имеют высокое георазнообразие, с большим внутренним топографическим изменением. Они, таким образом, обеспечивают большее разнообразие потенциальных сред обитания, чем большинство некарстовых ландшафтов, и часто относительно изолируются от их среды, такой как в ландшафтах башенного карста. Будучи в значительной степени защищенными от элементов, пещеры могут обеспечить уникальные трехмерные представления геологических соотношений, которые не могут иначе быть замечены из-за недостатка подходящих обнажений, или это было уничтожено выветриванием на поверхности или покрыто почвой и растительностью. С конца XX столетия пещеры использовались как легкодоступные поверхностные аналоги карбонатных нефтяных бассейнов. В тропической окружающей среде пещеры часто принимают совокупность большого биоразнообразия видов животных и растительности, включая редкие и эндемичные виды как выше, так и ниже почвы. Некоторые карстовые территории служили убежищами для разновидностей, которые сохранились под землей через экологические изменения, которые устранили их родственников, живущих на поверхности, или на поверхности в прохладных влажных микроклиматах, сформированных входами в пещеру и карстовыми воронками.

Летучие мыши – вероятно существа, обычно связанные с пещерами, но много других, часто местных позвоночных и беспозвоночных животных населяют карст, некоторые из которых могут иметь только маленькие популяционные числа или высоко приспособлены к постоянству подземной окружающей среды. Во многих, но не всех карстовых территориях, подземные условия окружающей среды могут быть почти постоянными, и пещерные виды могут иметь небольшую приспособляемость к подповерхностным экологическим изменениям. Во Вьетнаме лангур – тонкотелая обезьяна *Delacour's (Trachypithecus delacouri)*, подвергаемая опасности разновидность примата, является эндемичной для некоторых карстовых областей. На обширных карстовых территориях на границе между Вьетнамом и Лаосом большие блоки известняковых территорий разделены реками, которые обеспечивают эффективные барьеры рассеиванию видов. Есть, по крайней мере, шесть разновидностей едящих листья лангуров (*Trachypithecus spp.*), каждый эндемичный для определенного блока известняка. Точно так же в провинции Гуангси (Guangxi), Китай, фрагментация среды обитания отделяет поселения белоголовых лангуров (*Trachypithecus leucosephalus*). Уникальная подземная окружающая среда может быть сформирована гипогенными пещерами, развитыми благодаря спелеогенезу с серной кислотой, которые являются вместилищем одинаково исключительных сообществ или экосистем, часто полностью изолированных и которые полностью развились независимо от поверхностной окружающей среды. Богатая H<sub>2</sub>S пещера Мовиль (Movile) в

Румынии, является родиной, по крайней мере, 51 вида, из которых 34 являются эндемичными. Водоносный горизонт Эдвардс –местилище более чем 60 видов, включая высоко приспособленных рыб и саламандр, с некоторыми видами, известными только из водных скважин глубиной более 250 м.

Защищенная осадочная окружающая среда в пещерах облегчает сохранение ископаемого костного материала и связанной ДНК. Животные могут упасть, войти в поисках воды, или быть вмыты в пещеры, где их накопленные остатки обеспечивают данные об изменяющихся фаунах в течение долгого времени. Колонии летучих мышей и насесты сов в пещерах способствуют накоплению костей и обеспечивают хорошие образцы меньшей позвоночной фауны. Использование пещер млекопитающими как убежищ, мест спячки или как логово для молодых, с неизбежной смертью *на месте* некоторых индивидов, позволяет изучить рост серий и отношения добычи и хищника. Подсказки от осадочной окружающей среды всех этих остатков строят картину долгосрочного изменения фауны с изменениями климата, которая может помочь развить инструменты для предсказания, где виды могут существовать в свете быстрого современного изменения климата, распространения человечества и фрагментации среды обитания. Данные по окаменелостям обеспечивают единственные средства для оценки долгосрочных изменений фауны против климата и снабжения значащими данными для таких прогностических моделей.

Оценки прошлых климатических условий поддерживают интерес для естественных наук, в которых они обеспечивают некоторое объяснение изменяющихся структур распределения видов растений и животных на планете, включая наши собственные виды. С 1960-ых гг. был возобновлен интерес в реконструкции климата прошлого, как средства обеспечения аналогов для атмосферы, вероятно, для результатов глобального потепления. Развилась дисциплина науки спелеотем, чтобы предоставить длинные палеоклиматические архивы. В пределах пещер сталагмиты растут слой за слоем, часто на ежегодной основе, и, таким образом, продольный разрез через такой сталагмит обеспечивает микростратиграфию, которая может охватывать от тысяч до десятков тысяч лет. Датирования по урановым сериям обеспечивают абсолютную хронологию, которая может простирается до ~650000 лет (U-Th) и нескольких миллионов лет (U-Pb) назад. Анализ стабильных изотопов может предоставить заместителей для изменения климата по этой шкале времени. Записи по изотопам кислорода из китайских пещер обеспечили долгосрочные данные по изменениям, как в силе Восточноазиатского муссона, так и в глобальном климате в целом. Расширенные китайские данные покрывают прошлые 640000 лет из нескольких участков и являются одними из самых длинных непрерывных данных по климату на планете. Чрезмерно быстрый рост пещерных натёков в средиземноморских прибрежных пещерах является исключительными детальными архивами прошлых изменений уровня моря, возвращаясь во времени к Плиоценовой эпохе. В тропическом лесу Амазонки углеродные изотопы из сталагмитов привели к решающей информации об устойчивости леса. Эти пещерные отложения в состоянии обеспечить ключи к предсказаниям климата будущего, высоко оцененный данный неизбежный результат относительно исчезновения сильно заселённых прибрежных территорий из-за глобального повышения уровня моря.



*Отложение кальцита в натеке из капающей воды предоставляет ценный долгосрочный архив изменений в химии изотопа кислорода и, таким образом, прокси данные прошлых климатов. Фото Ксаба Эгри (Csaba Egri).*

У карста и пещер есть очень высокие живописные и рекреационные ценности. В конце 2021 г. было 76 объектов всемирного наследия в 44 странах и 68 Глобальных геопарков ЮНЕСКО в 26 странах с карбонатным карстом и пещерами. Туризм, таким образом, главная экономическая деятельность в некоторых карстовых регионах, включая использование как оборудованных, так и необорудованных пещер, и поверхностного ландшафта, таким образом, обеспечивая работой местных жителей. Рост пещерного туризма со скромного начала в конце XIX столетия со свечными фонарями до настоящего времени, когда используются светодиодные фонари и электропоезда, решительно расширил и использование, и диапазон воздействий на пещеры. Известно около 1600 экскурсионных (туристских) пещер во всем мире с некоторыми, получающими по несколько сотен тысяч посетителей в год, например, объект всемирного наследия Мамонтова пещера, США, принимающая 500000 посетителей, и пещера Постойна, Словения, получающая более чем один миллион посетителей. Эти статистические данные, вероятно, недооценивают число экскурсионных пещер в Китае, где может быть более 300 пещер, открытых для публики. В 2019 г. было 150 миллионов посетителей в экскурсионных пещерах, и целых 70000 человек могли быть заняты глобально в пещерном туризме. Отдаленная оценка также возможна посредством участков с онлайн интерпретацией, видео и фотографиями, производство которых может быть существенным компонентом небольшого количества местных экономических систем. Такие СМИ укрепляют ценность пещер и карста для туризма и как окружающей среды, нуждающаяся в охране.

Пещеры всегда использовались в качестве крова, как полезные площади, и как убежища во времена конфликтов. Они используются как святыни или храмы – как священные места, которые порождают чувства страха и почитания, и облегчают религиозные обряды, будучи набором мест вдали от ежедневного проживания. Пещеры часто расцениваются как неоднозначные места, предлагая и защиту, и убежище, но могут также заманить в ловушку и заключить людей в тюрьму. Во многих культурах местоположение в пределах земли идентифицировано как женщина, и пещеры были идентифицированы как представление о матке матери–земли и связаны с рождением и регенерацией. Есть мифы о людях, которые входят в пещеры и оказываются пойманными в ловушку, и выпускаются только после некоторого количества испытаний. Хотя святость можно инвестировать во многие другие естественные формы и объекты, такие как деревья, источники и горы, самые ранние известные священные места в предыстории были в естественно сформированных пещерах, таких как таковые в Дордонской (Dordogne) долине Франции. Тайские буддистские монахи ищут пещеры, как тихие убежища для практик размышления. Если монах становится известным медитационным мастером, то его последователи могут переделать пещеру в более декоративную святыню в честь его памяти.

Естественные пещеры долго были центром почитания и часто появлялись как в мифологических, так и в религиозных историях. Философ Порфирий (234-305 гг. н.э.) считал, что прежде чем появились храмы, все религиозные обряды происходили в пещерах. Он утверждал, что архитектура храмов подражала темноте и единственному входу большинства пещер, и что у проникновения света в пещеру в определенные времена года было ритуальное значение. Священная пещера может также содержать священный источник, который, как полагали, обладал специальными заживляющими или предсказательными свойствами.

В католических странах, таких как Бразилия, святыни и даже все церкви в пещерах представляют популярные места паломничества, с большой пещерой Бом-Жесус-да-Лапа (Bom Jesus da Lapa), содержащей две церкви, которые были местами поклонения с конца 1600-ых гг., и посещаются каждый год более чем одним миллионом человек. Пещера Лурда (Lourdes), Франция, признанная римско-католической церковью как место явления Девы Марии в 1858 г., принимает миллионы туристов ежегодно, многих в поисках заживления или духовного роста.



*У пещер и карста есть очень высокие эстетические и рекреационные ценности. Два спелеолога исследуют древнее подземное озеро в пещере Кризна (Krizna), Словения. Фото Ксаба Эгри (Csaba Egri).*

Существует множество пещерных храмов в Юго-Восточной Азии, как потому что они – удобные полости близко к городам, так и потому что у них есть впечатление тайны со скрытыми залами. Много пещер в Таиланде, Лаосе, и некоторые в Китае содержат буддистские святыни, с несколькими храмами даоистов и буддистов в пещерах около Ипоха (Ipoh) 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 (Batu) вне Куала-Лумпур (Малайзия), которая служит центром ежегодного фестиваля индусского сообщества Таипусам (Thaipusam). Она стала местом паломничества не только для малазийских индусов, но также и для индусов из других стран, включая Индию, Австралию и Сингапур. На японском острове Окинава несколько синтоистских святынь расположены во входах в пещеры.





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

Критерии, используемые для оценки значения индивидуальной пещеры, могут, поэтому, включать:

- *геологические* – такие как определенные черты, которые касаются структуры, стратиграфии, палеонтологии или минералогии.
- *геоморфологические* – такие как морфология галерей, последовательности обломочные отложений и натёки, особенно там, где они обеспечивают свидетельство прошлой поверхностной окружающей среды.
- *гидрологические* – такие как присутствие главных подземных потоков или озер, подземные нарушения поверхностных дренажных водоразделов, или ключевые элементы в понимании сети каналов.
- *биологические* – касающийся богатства разновидностей, присутствия редких и вымирающих видов, необычных трофических структур или ключевых участков материнства летучих мышей.
- *археологические и культурные* – такие как присутствие глубоких, хорошо стратифицированных отложений, роль пещеры в региональном предисторическом развитии, примеры исторического использования пещеры, такие как горная промышленность или водное управление, или её духовное и религиозное значение.
- *географические* – значения удаленности и пустынности, близость к парковочной инфраструктуре, такие как дороги и площадки для кемпинга, региональные возможности и доступность от главных популяционных центров.

Auler и др. (2018) обеспечили один подход к установлению приоритетов пещер для охраны окружающей среды, строго оценивая уровни значения. Они использовали 70 параметров, покрывающих вышеупомянутые критерии для 401 пещеры, которые они проанализировали статистически. Их результаты показали, что биотические параметры, наряду с широкими измерениями длины и площади, были самыми полезными. Этот подход может быть использован и улучшен для других карстовых областей, показывая пригодность соответствующих данных.

### **Рекомендации**

- (1) *Эффективное планирование для карстовых областей требует полную оценку всех их экономических, научных и человеческих ценностей в пределах местного культурного и политического контекста.*
- (2) *Менеджеры должны признать, что в карстовых водосборах поверхностные действия приводят к прямому или косвенному подземному воздействию или дальше вниз по течению.*
- (3) *Хорошее понимание особенностей пещер и их уникальных ценностей является существенным для улучшения управления любой карстовой областью.*

## Специальная природа окружающей среды карста и пещерных систем

*Растворимая порода и развитие подземного дренажа через каналы, которые объединяют поверхностные и подземные процессы, дают начало сложности и многим из специальных черт карстовых ландшафтов. Этот высокий уровень возможности соединения означает, что любое изменение или воздействие на поверхности быстро передается под землю, затрагивая окружающую среду пещеры и её зависимую сухопутную и водную жизнь.*

Поверхностная окружающая среда на карсте может быть резкой. Карстовая окружающая среда периодически засушлива на поверхности, даже во влажных климатах, потому что дождевая вода быстро дренируется под землю. Если над коренными породами не лежат поверхностные отложения, карстовые поверхности имеют тенденцию быть скалистыми с мелкими и неоднородными почвами. Количество растворимых минералов, таких как кальцит и доломит, в карбонатной коренной породе часто достигает 90-99%. Соответственно, полное содержание нерастворимых минералов, которые приводят к формированию почвы, составляет только 1-10%. Таким образом, растительность, найденная на карбонатном карсте, имеет тенденцию приспосабливаться к скалистым почвам, высокому содержанию кальция (щелочность) и сухим условиям. Исключение в этом – там, где над растворимыми породами лежат остаточные (аллогенные) поверхностные отложения, такие как ледниковые отложения (в северных Соединенных Штатах), лёсс (в английском Пиковом (Peak) районе) или вулканический пепел (в карсте Новозеландской Страны Королей). В тропических областях почва, покрывающая карст, больше распространена под тропическим лесом или растительностью саванны, и может иметь существенную почвенную мантию из вулканического пепла.

Поверхностные экосистемы в карсте часто весьма отличаются от смежных ландшафтов в терминах топографии, геоморфологии, гидрологии, почв и растительности. Карстовые ландшафты, с их грубой топографией и резкими условиями окружающей среды, предлагают большее разнообразие различных сред обитания, чем некарстовые ландшафты. Поэтому, они способствуют большей биологической изменчивости растений и животных, включая редкие и эндемичные виды. В Лаосе есть 21 известный вид каперсника (*Capparis* spp. L.) с большинством, являющимся эндемичным для единственного карстового участка. Точно так же около 90 разновидностей криволапых гекконов (*Cyrtodactylus* spp) являются эндемичными для карстовых участков в их ареале от Индии, всюду по Юго-Восточной Азии, до Меланезии.

Подземная окружающая среда в карсте является особенной и более полно развитой, чем в некарстовых горных породах. Все типы горных пород разрешают некоторые степени движения грунтовых вод как трещинное течение, но только в карстовых горных породах растворение водой увеличивает трещины, чтобы сформировать каналы или пещеры, которые прокладывают маршрут поверхностного дренажа намного или полностью под землей. Пещеры в карбонатных породах вообще больше, длиннее и глубже, чем пещеры в других типах горных пород, таких как песчаник (кварцит), конгломерат, лава или эвапориты. Пещера Деер (Deer), Саравак, и пещера Ханг Сон Дунг (Hang Son Doong), Вьетнам, находятся среди самых больших в мире пещер в терминах непрерывного размера галерей, в то время как Мамонтова пещера, США, является самой протяженной пещерой, и Пещера Веревкина, Грузия, является самой глубокой (всё на январь 2022 г.).

В дополнение к пещерам исследуемых размеров, существуют мало исследованные, но вероятно обширные, подземные среды обитания в пределах карстовых каналов с диаметром меньше 0,3 м и недоступные людям. Это – мезопещерная среда обитания. Хотя она получила небольшое исследование до настоящего времени, она, как полагают, вероятно, имеет большое значение для подземной биоты, и на некоторых карстовых территориях может давать убежище популяционной массе многих видов, описанных как «фауна пещер». Выше горизонта грунтовых вод заполненные воздухом мезопещерные среды обитания, вероятно, испытывают более устойчивые микроклиматы, чем пещеры большого диаметра, и могут, поэтому, предоставить пещерной фауне наиболее оптимальные условия. Самое общее обсуждение антропогенных воздействий или уменьшения воздействий на «пещерные» ареалы или стигофауна может, как полагают, затрагивать такие каналы меньшего диаметра и их фауну.

Некоторые пещеры – в значительной степени реликтовые, получают только воду просачивания с поверхности, в то время как другие активны, с поступлением воды и отложений из поверхностных потоков, включая некоторые периодические наводнения. Отсутствие солнечного света для первичного производства означает, что большинство органического материала для пещерной пищевой сети должно прибывать из поверхностной окружающей среды. Некоторые пещерные экосистемы, однако, полагаются на геохимические источники энергии, такие как окисление сульфида.

Самые очевидные объекты окружающей среды пещер – уменьшенный до вообще отсутствующего уровень освещенности и почти постоянный температурный режим далеко от входов. Жизнь в полной темноте требует, чтобы другие органы чувств – преимущественно таковые для контактов и запаха – стали доминирующими. Таким образом, полностью приспособленная к пещере фауна очень увеличила антенны или удлинила придатки, так же как специализировала органы для обнаружения вибрации. Глаза могут быть очень уменьшены в размере или даже отсутствовать. Эти особенности называют трогломорфия, и сухопутных животных этого вида называют троглобионтами, в то время как их водные копии называют стигобионтами.

Подземная фауна была классифицирована согласно положению и продолжительности их жизни в пещерах как трогло-, или стигобиты (обязательные пещерные жители), -филы (случайные пещерные жители), и -ксены (посетители пещер). Слепые пещерные рыбы дают хороший пример приспособленного к пещерам стигобионта. Однако к этому есть исключения, и есть животные обязательные пещерные жители, которые показывают малую или отсутствующую адаптацию к темноте.

Подземная фауна, и особенно стигофауна, может быть найдена в некарстовой окружающей среде, но пещеры и карстовые системы грунтовых вод предлагают большее разнообразие сред обитания и большие пустоты. Поэтому, у подземной фауны карста вообще есть более высокая биологическое разнообразие, чем в некарстовой подземной окружающей среде. Подземные сообщества часто характеризуются высоким числом редких и эндемичных разновидностей, из-за их высокой степени изоляции. Неспособные покинуть свою подземную среду обитания, троглобионты, таким образом, часто ограничиваются единственной карстовой областью или пещерной системой.

Карстовые области дренажа не легко разграничиваются. Дренажные бассейны и маршруты, сопровождаемые карстовой водой, не очевидны, потому что пути дренажа являются в значительной степени подземными, и бассейны грунтовых вод обычно не следуют поверхностным водоразделам. Кроме того, водоразделы грунтовых вод в карсте, лучше всего рассматриваются как зоны, потому что их плановое положение может перемещаться между высокими и низкими водными условиями. Большая часть воды, проходящей через карст, поступила через поглощающиеся потоки. Если эти потоки происходят на непроницаемых горных породах, которые лежат вне границы карстовой области, их называют аллогенными потоками, в противоположность аутогенным потокам (или воде), полученным полностью из карстовых горных пород.

Карстовые экосистемы хрупки, потому что условия окружающей среды могут быть экстремальными, и потому что высокая степень взаимосвязанности в карстовых экосистемах означает, что у прямых воздействий на единичный элемент карстовой экосистемы могут быть серьезные косвенные последствия для других элементов или всей карстовой экосистемы. Эти условия приводят ко многим карстовым экосистемам, имеющим низкую устойчивость, означая, что у них есть низкая способность ответить на нарушения, сопротивляясь повреждению или выздоравливая впоследствии. Карстовые грунтовые воды особенно уязвимы для загрязнения из-за их гидрогеологической структуры, таким образом, что загрязнители могут легко проникать через тонкие почвы и эпикарст, через карстовые воронки или поглощающиеся потоки. Термин «эпикарст» относится к верхним нескольким метрам коренных пород, в которых имеет место большая часть растворения, и у которого, поэтому, есть больше пустот, чем в более глубоких породах. Оказавшись под землей, вода движется намного быстрее в каналах (километры в день), чем в большинстве некарстовых грунтовых водах (метры в год), таким образом, загрязнители могут распространиться на большие расстояния и воздействовать на подземные виды и экосистемы. Загрязнители могут оказаться пойманными в ловушку в карстовых водоносных слоях и затем выводиться в течение долгого времени в источниках.

Почвы в карсте часто хрупки и уязвимы для чрезвычайно необратимой эрозии, по крайней мере, для человеческих временных рамок. Удаление или деградация растительности (например, заготовка древесины, выпас домашнего скота или использование для сельского хозяйства) могут вызвать серьезную эрозию почвы и привести «к скалистому опустыниванию», главной экологической проблеме в Динарском Карсте Европы и Карсте Южного Китая. Деградация естественной растительности и эрозия почвы взаимосвязаны (то есть, деградация растительности может вызвать эрозию и наоборот). Эрозия почвы и деградация растительности могут привести к потере среды обитания и, таким образом, снижению в поверхностном карсте биологического разнообразия экосистем. Эрозия почвы и связанное уменьшение количества растительности и биологической деятельности уменьшают эффективность карстовых ландшафтов или действия как естественного поглотителя атмосферного CO<sub>2</sub>. Карстовое растворение составляет до 29,4% земного поглощения CO<sub>2</sub> или 10,4 % полной антропогенной эмиссии CO<sub>2</sub>.

Охрана естественных процессов, особенно гидрологических систем, фундаментальна для охраны и управления карстовыми ландшафтами. Это подразумевает потребность в целостном подходе, с осторожным управлением растительностью и почвами всех водосборных районов, для защиты грунтовых вод и сохранения биологического разнообразия. Потребность в полном управлении водосборными бассейнами более жизненно важна для карстовых ландшафтов, чем во многих других литологиях. Управление качеством воды аллогенных потоков, стекающими в карст, и защита карстовых воронок, которые обеспечивают точечное поступление воды, главные проблемы в управлении всеми карстовыми областями.

Есть теперь относительно немного мест, где существует возможность охранять действительно древние карстовые ландшафты. В дополнение к сохранению и поддержанию таких участков, фокус должен быть направлен на исправление негативных воздействий прошлого и настоящего управления, включая восстановление естественной растительности и среды обитания фауны в деградирующих карстовых ландшафтах. Эти типы исправлений могут помочь восстановить естественные карстовые процессы.

## Рекомендации

- (4) *Охрана естественных процессов, особенно гидрологических систем, фундаментальна для охраны и управления карстовыми ландшафтами.*
- (5) *Выдающийся среди карстовых процессов каскад углекислого газа (CO<sub>2</sub>) от низких концентраций во внешней атмосфере через очень расширенные концентрации в почвенной атмосфере к уменьшенным концентрациям в галереях пещер. Поднятые концентрации углекислого газа почвы – результат дыхания корней растений, микробной деятельности и здоровой фауны беспозвоночных почвы. Этот каскад должен быть поддержан для эффективной действий карстовых процессов растворения.*
- (6) *Потребность в полном управлении водосборами более жизненно важна для карстовых ландшафтов, чем для многих других литологий.*
- (7) *Есть теперь относительно немного древних карстовых ландшафтов и те, которые остаются, должны быть сохранены и поддержаны в первую очередь. В других местах, фокус должен быть направлен на исправлении любых негативных воздействий прошлых и настоящих методов управления.*

## Масштабы управления в карстовых областях

Есть растущее понимание, что предписания управления должны принять во внимание естественные и наложенные изменения в структуре и функции карстовых систем. Единое предписание управления, приложенное ко всей сложной карстовой гидрологической системе (или комплексной интегрированной пещерной системе) вряд ли соответственно защитит продолжающиеся геоморфологические и экологические процессы в различных частях системы, и поэтому планирование управления должно принять во внимание факторы масштаба в карстовой системе. Даже в засушливых карстовых областях может быть сильный градиент в микроклимате и источниках энергии, простирающихся в пещерную систему от входа. Поэтому, предписания управления должны принять во внимание естественные изменения в экологии пещер.

Для некарстового водосборного бассейна, где стоки воды находятся преобладающе на поверхности, понятие речного континуума утверждает, что биологические и химические процессы реки глубоко связаны с её физическими признаками, особенно с температурой воды, режимом потока и транспортом отложений. Таким образом, биологические сообщества изменяются, очевидно, в направлении вниз по течению, так же, как сама река изменяется. Это подразумевает, что биологические сообщества приспосабливаются к специфическим условиям короткого участка потока, или «протяжения потока», где есть подобные геоморфологические и экологические условия.

Для такого водосборного бассейна мы могли представить пространственные шкалы управления как:

*Весь водосборный бассейн > суб-водосборный бассейн (определенный в соответствии с порядком потока, литологией) > **протяженность потока** (подобный градиент, субстрат, режим потока) согласно понятию речного континуума.*

Однако для карстового водосборного бассейна наше представление было бы:

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

Поступление пищи и энергии из внешних источников становится важным для выживания жизнеспособных популяций организмов, составляющих экологию пещеры. Основной внешний источник - органические остатки, вносимые в пещеру проточной водой, или как просачивание, или как дискретные пещерные потоки. Этот материал может быть прекрасным перегноем, с готовностью используемым биотой пещеры, или более грубым материалом (прутья, листья и ветви), который должен сначала быть разрушен бактериями и грибами, чтобы стать пригодным к употреблению. Пещера, таким образом, эквивалентна верхним протяжениям поверхностного потока. Участки пещеры с редким затоплением могут, поэтому, как ожидается, быть обеднены в фауне, в то время как участки вдоль главных потоков с прямой внешней связью могут быть весьма богатыми видами и иметь высокое общее количество организмов. Хотя эти виды и организмы могут быть смыты большими наводнениями, поселения могут повторно образовать колонии, распространяясь из щелей в породе или мезо-полостей. Другой существенный источник внешнего материала происходит из процессов выпадения из воздуха вниз карстовых воронок, шахт или трещинных систем, открытых 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 предоставляет очень важный источник энергии в большинстве тропических и некоторых умеренных пещерах. Летучие мыши и птицы могут быть важным внешним источником энергии в форме гуано и трупов, и в некоторых экосистемах будут главным или единственным источником энергии.

Частота и величина поступления энергии в экосистему пещеры становятся очень важными для сохранения популяций организмов. В областях с холодным климатом с движением воды, ограниченным весенним таянием, биологическая деятельность осуществляется поэтапно, следуя за главным притоком воды и органического вещества, в то время как в

других случаях может быть в значительной степени находящейся в спячке. В областях с решительно сезонными осадками организмам, вероятно, приходится приспосабливаться, чтобы пережить засуху в течение шести месяцев; возможно дольше, если климатическая изменчивость высока. Фауна пещер в тропических областях менее ограничена и может быть активной в течение года, хотя воспроизводство может быть осуществлено поэтапно, например, для уменьшения соревнования за ресурсы. Важно признать, что богатство видов, связанное с органическим веществом, не всегда отражает богатство троглобионтной фауны там, где органическое вещество присутствует. Троглобионты происходят, чаще всего, в бедных пищей пещерных регионах и менее часто находятся в тропических пещерах, где органический материал более широко рассеян. Главные изменения в величине и частоте поступлений воды могут иметь серьезные последствия для биологии пещеры, и распространены в сельских районах, где карстовые воды отводятся или чрезмерно использованы, или если есть поверхностные изменения, такие как разрушение растительности, изменяют количество и качество просачивающейся воды.

Пещерные галереи или каналы становятся эквивалентом протяженности потока, так же как фундаментальной единицей управления. Галереей с текущим потоком нужно будет управлять по-другому по сравнению с высокоуровневой галереей, в которой редко, если вообще, бывает текущая вода. Возможность соединения этих различных типов галерей становится очень важной для понимания потоков массы и энергии в любой пещерной системе. Пещерные галереи, которые являются реликтовыми, имеют гипогенное происхождение, или в палеокарсте имеют низкую или нулевую возможность восстановления и имеют малую или отсутствующую способность для восстановления после нарушений. У галерей, которые периодически затопляются, есть мало возможностей для восстановления, в зависимости от частоты нарушений. Активные галереи с потоком со значительным потоком отложений, органического углерода и некоторых взвесей могут справиться с нарушением и поддержать жизнеспособные экосистемы.

Может присутствовать вода, заполняющая полости в глубине в карсте, которая имеет гипогенное происхождение (сформирована поднимающейся грунтовой водой). В водоносном горизонте Эдвардс, Техас, есть много мест в водоносном слое, которые могут быть на больше, чем 1000 м ниже горизонта грунтовых вод, и всегда бывают заполнены водой. С самым большим известным числом приспособленных к водоносному слою видов у них есть уникальная фауна, не полученная из поверхностных входов. Они восприимчивы к извлечению воды из скважин и к потенциальным воздействиям плохо защищенных и заброшенных водных скважин. Больше чем шестьдесят других водных видов известны только из изливающихся артезианских скважин, включая двух слепых сомиков.

Индивидуальная карстовая гидрологическая система (или пещерная система) может содержать несколько компонентов или типов галерей, от активных водных галерей до неактивных высокоуровневых галерей, так же как плохо связанных реликтовых галерей. Каждая требует различного предписанного управления, но должна быть объединена на уровне водосборного бассейна или суб-водосборного бассейна, где рассмотрения путей течения, источников энергии, типов и режимов нарушения, и стратегий смягчения могут быть изложены. На самом широком уровне всего вносящего водосборного бассейна как карстовые, так и некарстовые компоненты должны быть оценены в терминах потоков вещества и энергии, и вероятного нарушения и/или источников загрязнения.

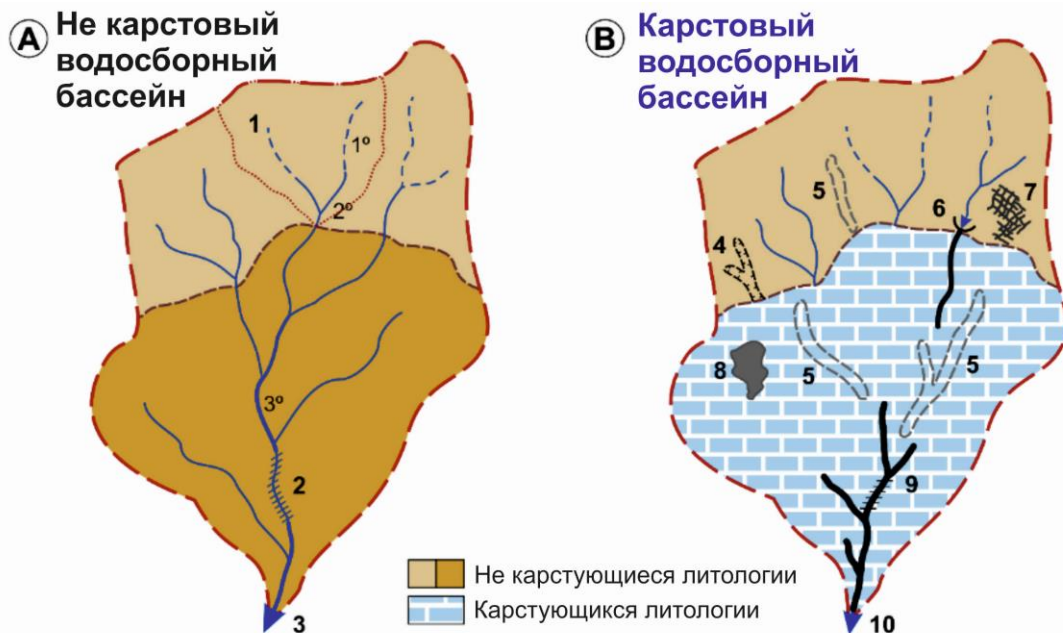
*Схема возможности соединения и уровней энергии для компонентов карстовых систем*

<b>Компоненты карстовой системы</b>	<b>Связность с поверхностью</b>	<b>Энергетические уровни и потоки</b>
Активное поглощение потока	Высокая	Высокие, регулярные паводки приносят грубые обломки дерева, частицы и растворенный 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 выпуск DOC и общих 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 значительным
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

Один метод достижения этого масштаба управления – с помощью пространственных моделей. Карстовый индекс нарушения, сначала разработанный van Beynen и Townsend (2005), является методом для оценки антропогенных воздействий на карстовые ландшафты. Он использует пять категорий экологических индексов – геоморфологию, гидрологию, атмосферу, биоту и культуру – из которых могут быть определены уровни или диапазоны нарушения. В принципе, индикаторы в каждой категории должны быть недорогими для получения, легко воспроизводимыми, и чуткими к изменениям в условии окружающей среды. Источники данных включали полевые съемки, пространственные данные, топографические карты, аэрофотосъемку, и экспертные мнения от местных исследователей пещер и правительственных чиновников. Вычисление индикаторов может быть или полуквантитативным (оцениваемые данные, категоризированные области или процент покрытия) или качественным (тип урегулирования или тип развития пещеры). От индикатора можно отказаться, если он не относится к области интереса. Полный индекс нарушения вычисляется, используя сумму всех полученных баллов, разделенную на сумму возможных максимальных баллов, производя дробь. Преимущество индекса состоит в том, что заинтересованные стороны могут исследовать каждый индикатор и видеть, как он был получен, в то время как полное состояние карстовой окружающей среды упрощено до легко сопоставимой категории для экологических менеджеров и высших чиновников.

Карстовые гидрологические системы особенно уязвимы для загрязнения из-за быстрых связей между поверхностью и водоносным слоем. Внутренняя уязвимость определена свойствами карстовой окружающей среды, которые влияют на степень уязвимости. Они касаются «пломбирования» карста в терминах толщины почвы и скорости инфильтрации, плотности трещин в эпикарстовой зоне, распределения карстовых воронок и изменений в гидравлической проводимости. В комбинации они определяют потенциальную уязвимость, в то время как добавление использования земли и инфраструктуры (дороги, водоснабжение, закапывания мусора или точки источников загрязнения) создает определенную уязвимость. Эти подходы к оценке уязвимости пространственно объединены в моделях уязвимости грунтовой воды (GVM), которые стремятся определять количество уязвимости водоносного горизонта к производимому человеком загрязнению. Одна из наиболее хорошо принятых GVMs, EPIK была определенно разработана для карстовых водоносных слоев. Любой пользователь GVM должен быть уверен в корректности используемых входных параметров, поскольку некоторые очень трудно определить количественно.



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

## Рекомендации

- (8) Единое предписание управления, приложенное к сложной карстовой гидрологической системе (или комплексной интегрированной пещерной системе) вряд ли соответственно защитит продолжающиеся геоморфологические и экологические процессы в различных частях системы. Планирование управления должно, поэтому, принять во внимание факторы масштаба в карстовой системе.
- (9) Биология большинства пещер в значительной степени зависит от источников пищи, приносимых из поверхностной окружающей среды. Поступление пищи и энергии из внешних источников важно по отношению к выживанию жизнеспособных популяций организмов, и частота и величина поступлений энергии в экосистему пещеры являются существенными к обслуживанию популяций организмов.
- (10) Индивидуальная карстовая гидрологическая система (или пещерная система) могут 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 быть очень чувствительными к загрязнителям грунтовых вод, в то время как другие участки могут быть менее чувствительными. Всестороннее планирование землепользования, поэтому необходимо, чтобы защитит карстовые ресурсы грунтовых вод.



*Очень активный участок пещерной галереи, которая испытывает регулярные наводнения в Шкоцианской Яме, Словения. Река Reka, которая течет через пещеру, может повысить свой уровень на более чем 50 м, достигая уровня туристской тропы, которая заметна в верхнем левом углу. Шкоцианская Яма - место Ramsar, которое находится в пределах объекта всемирного наследия Шкоцианской Пещеры и карстового биосферного заповедника ЮНЕСКО. Фото Ксаба Эгри (Csaba Egri).*



# Антропогенная активность в карсте: воздействия и их смягчение



Некоторые из антропогенных воздействий на карстовую территорию. Диаграмма Мариу-Лауры Турла (Maria-Laura Tîrlă) и Богдана Бадеск (Bogdan Bădescu).

## Рекреационная и приключенческая спелеология

### Введение

Люди посещали пещеры, начиная с происхождения нашего вида, как свидетельствует искусство и оставленные внутри артефакты. Наиболее широко использовались входы пещер, поскольку они давали хороший приют, но были также посещения темной зоны вдали от входа, наиболее вероятно в ритуальных целях или в поисках воды, как делали майя в Центральной Америке. Хотя люди продолжили жить во входных областях пещер до настоящего времени, эта ранняя фаза сопровождалась той, в которой пещеры стали предметами мифов и их обычно боялись как местообитание предполагаемых монстров и злых духов или готовыми воротами к черту. В Европе этот период во власти невежества и суеверия продолжался до XVI столетия, которое было временем путешествий, исследований и началом естественных наук, по крайней мере, для тех, у кого были достаточно богатств и ресурсов для этих стремлений.

Исторические посещения пещер в исследовательских целях были, главным образом, зарегистрированы в Европе, но также имели место в Китае, где Ксу Ксиакэ (Xu Xiake, 1587-1641 гг.) был первым региональным карстовым ученым и спелеологом. Постепенно люди начали видеть подземелье как место для исследований и наслаждений, а не место, которого надо бояться. Пещеры были первоначально изучены учеными, такими как археологи, биологи, геологи и географы, которые первоначально работали вне пещер. К XIX столетию некоторые люди начали сосредотачиваться, прежде всего, на пещерах и именовать себя как спелеологи. В тоже время наблюдался рост в «исследованиях», с посещениями «иностранных земель», подъемы в горы и, неизбежно, спуски в пещеры. В XXI столетии осталось немного легкодоступных мест на земле, которые не посещались людьми, и несколько гор, которые остаются непокоренными, но каждый год исследователи пещер исследуют и картируют много десятков километров ранее неизведанных пещер. За первыми исследователями приходили другие, посещения которых были просто для отдыха и удовольствия, которое было для пещер, как для большей части поверхности земли. Есть высказывание, по общему мнению, с XV столетия: «Едва один человек находит способ наслаждаться, как другой находит способ делать деньги из этого», и промышленность росла, в котором гиды предлагали свои услуги тем, кто желает принять участие в наружном (включая подземное) приключении. Самой старой известной экскурсионной пещерой в мире, как полагают, была пещера Рид Флут (Reed Flute), Китай, которая содержит надписи с 792 г. во время Династии Танг. Первый зарегистрированный тур в пещеры в Европе был в пещеру Постойна (Postojna), Словения, в 1213 г. Пещера Виленика (Vilenica), также в Словении, собирала входную плату с посетителей с 1633 г.

С этой историей в памяти, в XXI столетии мы можем идентифицировать несколько широких групп людей, которые ходят в пещеры:

- широкая публика, или посещающая экскурсионные пещеры, или посещающая в религиозных целях.
- спелеологи участвуют в исследовании пещер и документации.
- рекреационные пещерники (свободный доступ).
- приключенческие пещерники (ведомые инструктором).
- ученые, которые предпринимают подземное исследование или используют материал из пещер в своих исследованиях.
- «непредвиденные» пользователи пещер, для которых пещера не первичная цель их посещения, например, те, кто принимает участие в беговых событиях, которые включают участки пещерных галерей.

У экскурсионных пещер и пещер, которые используются в религиозных целях, обычно есть искусственное освещение и дорожки, делающие их подходящими для посещения любым членом общества, который достаточно мобилен, с некоторым движением далее и обеспечением доступа инвалидов. Напротив, посетители приключенческих, рекреационных и исследовательских посещений пещер обычно носят установленный на шлем индивидуальный источник света и имеют переменное количество защитной одежды и оборудования. Рекреационное посещение пещер вовлекает посещения участков, которые были уже исследованы и картированы, в то время как исследователи пещер стремятся получить доступ к ранее неизвестным галереям и картировать и документировать свои открытия. Это может быть достигнуто различными средствами, включая восходительные экспедиции в области ранее неизведанные, разбор завалов в конце известных галерей, внутренние восхождения или подводное плавание. Эти категории пользователей пещер могут быть полезными в исследовании потребности управления и воздействия. Это должно быть признано, что индивидуальный человек может принять участие в больше, чем одном из действий. Например, исследователь пещер может потратить часть своего времени в исследовании, но также и наслаждаться рекреационными пещерными посещениями, так же как принятием участия в (или быть вовлечен в руководство), приключенческое посещение пещер и, вероятно, будут наслаждаться посещениями в экскурсионные пещеры.

С точки зрения управления любая карстовая область, вероятно, будет иметь несколько типов использования пещер. Первыми будут экскурсионные пещеры и пещеры религиозного назначения. Во-вторых, будут места приключенческого посещения пещер, многие из которых получают небольшую модификацию для безопасного посещения. Наконец, большая часть участков сохраняется для рекреационного посещения пещер и исследования. Экскурсионные пещеры религиозного назначения рассматриваются в другом месте, таким образом, эта часть сосредотачивается на приключенческом, рекреационном посещении пещер и исследовании. Для многих необорудованных пещер или «диких пещер», деятельность спелеологии – самый непосредственный фактор риска, который рассмотрим, обращаясь к их охране, особенно там, где охранный статус территории предусматривает благожелательное управление водосборным бассейном.

### *Исследование и документация пещер*

В отличие от других ландшафтов, протяженность документированных пещерных галерей прирастает многими километрами каждый год в результате усилий исследователей пещер. Эти усилия могут быть разделены на две широких группы, 1) исследование через открытый вход или открытую галерею в известной пещере, и 2) исследование, которое требует модификации пещерных входов и галерей. В большинстве стран с длинной историей активности исследования пещер есть очень немного, если таковые вообще имеются, открытых входов в пещеры, которые не были исследованы и зарегистрированы. В других местах, наиболее часто в тропиках и в высоких широтах, экспедиции исследователей пещер всё ещё в состоянии зарегистрировать в основном неизвестные пещерные системы. В тропических областях пещеры, вероятно, будут посещаться местными жителями, если доступ в них не будет особенно трудным, как например, в глубокие шахты или входы в основании круто-стенных карстовых воронок. У исследователей этих пещер есть ответственность и зарегистрировать их открытия, включая информацию относительно особенностей специфического научного интереса, и предпринять шаги, чтобы гарантировать, что пещера, если недавно обнаружена, будет сохранена (см. Моральный кодекс UIS). В частности существенно, что местные народы полностью заинтересованы, чтобы узнавать о местоположениях пещеры от них, так же как любые священные или другие ценности, которые они могут иметь, чтобы предоставить информацию о ценностях пещеры для исследователей и более широкого сообщества, и сообщить им, как эти объединенные ценности могут быть защищены.

В пределах известных пещер могут все еще быть галереи, не посещенные первыми исследователями, самая общая причина состоит в том, что галерея не могла легко быть достигнута, обычно потому что она высоко над известной галереей, или потому, что она заполнена отложениями или водой. К галереям высокого уровня получают доступ пещерные восходители, которые обычно должны использовать крючья или другие неподвижные приспособления, чтобы гарантировать безопасный подъем. Это неизбежно приводит к незначительному царапанию стен галереи. Исследование заполненной водой галереи предпринимается пещерными дайверами, которые могут получить доступ к заполненным воздухом проходам. Там где эти проходы обширны, может быть давление от не дайверов для развития альтернативных входов, которые не требуют подводного плавания, которое может быть проблематичным, если новые проходы имеют высоко эстетическую или научную ценность.

Много «новых» пещерных галерей найдены модификацией прохода, обычно известной как «копание». Используемые методы могут включать удаление отложений, укрепление, чтобы стабилизировать маршруты через области обвалов, отклонение потоков, дренаж статических сифонов (заполненные водой галереи) и использование взрывчатых веществ, чтобы увеличить узкие проходы. Такие работы должны быть ограничены минимальной модификацией, требуемой, чтобы получить доступ и только после того, как было как полное рассмотрение потенциальных воздействий, в коротком и в долгосрочном смысле, так и если важность открытия перевесит воздействия, вызванные модификациями.



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

В охраняемых областях для менеджеров важно потребовать разрешение для всех действий копания и, в некоторых странах, определенные рекомендации были разработаны. Документ, представленный Дербиширской Ассоциацией кейверов в товариществе с Естественной Англией – британский Правительственный советник по охране природы – конкретно обращается к копателям Мест Специального Научного Интереса (см. интернет-Ресурсы). В рассмотрении заявлений должно быть признано, что успешное копание увеличивает научный интерес участка, обеспечивая доступ к новой галерее и интересным объектам. Однако, те, которые делают заявления для копания, должны продемонстрировать обязательство по уменьшению воздействий, например, осторожным прокапыванием траншеи через заполненную отложениями галерею, а не полное удаление отложений. Если копание успешно, должно быть требование полностью документировать и описать открытия, включая карту и фотографии. Эту информацию нужно послать менеджеру по охране области, который может тогда решить, требуется ли последующее научное исследование. В это время как новая пещера или участок пещеры зарегистрирован, рассмотрение должно быть дано относительно того, как он может лучше всего быть сохранен. Где открытие содержит чувствительные области, исследователи должны рассмотреть лучший маршрут через те области и гарантировать, что это ясно отмечено для тех, кто следует. Должно быть требование, чтобы удалить всё избыточное оборудование по завершении копания, особенно если копание неудачно. За исключением отдаленных областей, недавно обнаруженные пещеры и галереи могут привлечь сильный интерес в пределах пещерного сообщества и удобный момент, чтобы защитить участок прежде, чем он окажется под влиянием посетителей, может быть весьма коротким.



*Исследование пещеры иногда требует удаление отложений, чтобы получить доступ к галерее вдали. Оба изображения показывают шахты, проходящие через отложения, и использование подмостей и досок, чтобы предотвратить обвал. На левом изображении шахта была выкопана до глубины 4 м к открытой щели, приводящей к 50 м галерее с прекрасными натекami. В правом изображении труба налево от фигуры была установлена, чтобы улучшить вентиляцию. Никакие отложения не были удалены из пещеры, но вместо этого были уложены в мешки и сложены в доступном месте. Приблизительно после 5 м копания попали в открытую галерею высокой научной ценности. Оба прокопа были в Участках Специального Научного Интереса и были предприняты с разрешением от установленных законом властей. Прокоп справа находится в конце экскурсионной пещеры, и был предпринят с поддержкой от владельца. Фото Роба Эвиса (Rob Eavis).*

Большинство вовлеченных в исследование пещер публикует детали их открытий в журналах, информационных бюллетенях или, все более и более, онлайн. Эти сообщения обычно содержат детализированные карты и описания, которые предоставляют важный информационный источник о ресурсах пещеры. Во многих карстовых областях фактически все то, что знают о пещерах – результат усилий пещерных групп. Пока некоторые охраняемые области зависят от пещерного сообщества для получения информации о пещерах, и в некоторых случаях бывают партнером с ними в аспектах управления, менее реагирующий стиль управления возможен, где государственные представительства развивают внутреннюю спелеологическую экспертизу. Это может быть сделано, нанимая специалиста научного штата, чтобы советовать по связанным с пещерой делам и развивая пещерную способность на эксплуатационном уровне через подготовку кадров.



*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 Джона Спиеса (John Spies).*

## Рекреационное посещение пещер

Рекреационное посещение пещер (иногда называемое спортивной спелеологией) по существу «идет посещение пещеры просто для удовольствия идущего в пещеры» и вовлекает посещения в известные пещеры. Также, это подобно другому наружному стремлению досуга, такому как ходьба или восхождение. Во многих американских и европейских странах рекреационное посещение пещер (в противоположность исследованию) началось в начале XX столетия и было предпринято в клубах или группах в пределах от нескольких аналогично мыслящих людей до больших хорошо организованных организаций. С увеличенной пригодностью личного оборудования, и особенно после принятия методов статической веревки, для маленьких групп людей стало возможно предпринять посещения глубоких и сложных пещер, не имея необходимости полагаться на клуб для поддержки. Однако в XXI столетии глобально большинство рекреационных спелеологов остается членами, по крайней мере, одного спелеоклуба. Доступ к пещерам – ключевое требование для рекреационной спелеологии, и во многих странах спелеоклубы объединились, чтобы сформировать региональные или национальные органы с основной целью поддержки и поиска улучшения доступа в пещеры, с охраной наиболее зрелищных пещер. Национальные органы также обычно предоставляют участникам объем страховой ответственности, так же как для землевладельцев с пещерами на их собственности. В 1965 г. «Международный союз спелеологов» (UIS) был сформирован как международная организация для кейверов и спелеологов, и на январь 2022 г., было 57 стран-членов. В UIS есть Комиссия Охраны Карста и Пещер, участники которой способствовали созданию этих рекомендаций.

Сейчас большинство рекреационных спелеологов ценит красоту, хрупкость и научную важность подземной окружающей среды, это не всегда имело место, и много пещер перенесли серьезные повреждения и преднамеренно, и по незнанию. Специфическая проблема в XXI столетии была увлечением того, что можно назвать «скоростной спелеологией», где цель состоит в том, чтобы достигнуть специфического пункта в пещере и возвратиться назад на поверхность в самое короткое время, с небольшим рассмотрением потенциальных воздействий на пещеру. Преднамеренный вандализм обычно вовлекает удаление натёков как сувениров, разрушение обломочных последовательностей отложений во время грязевых поединков или создания скульптур и горок, и нанесения надписей на стенах. Где пещера охраняется, или расположена в охраняемой области, судебный иск может иногда выставляться, если преступники опознаны (было успешное судебное преследование в США), но это не может дать компенсацию за потерю. На человеческой шкале времени натёки и обломочные последовательности отложений невозполнимы. Небрежное повреждение следует из отказа понять и уважать окружающую среду пещеры. В частности много исследователей пещер, которые немедленно признают ценность натёков и потребности защитить их вообще, не в состоянии ценить научную важность обломочных отложений, вместо этого рассматривая их как «грязь».



*Тонкие соломенные сталактиты в гроте Кастл (Castle), пещера Холлоу Хилл (Hollow Hill), Ваитомо, Новая Зеландия. Они были защищены осторожной политикой доступа и минимальным воздействием по рекомендациям спелеологов. Фото Джона Гунна (John Gunn).*

С середины 1990-ых гг. беспокойство по воздействиям спелеологов на пещеры привело к развитию во многих странах Моральных кодексов, Кодексов Сохранения Пещер и Кодексов спелеологов Минимального Воздействия. Цель этих кодексов состоит в том, чтобы поощрить исследователей пещер думать о каждой поездке, которую они совершают в терминах охраны, так же как безопасности, выдвигая на первый план важную роль охраны многими национальными и местными организациями спелеологов. В стране с установленным кодексом исследователи пещер обязаны быть знакомыми с кодексом и следовать ему. В охраняемых областях приверженность кодексу должна быть принудительной. В тех странах, где нет никаких установленных кодексов, затем менеджеры охраняемой области должны установить кодекс для пещер в их области, привлекая соответствующий материал из изданных кодексов. Примеры их даны ниже.

## ПРИМЕРЫ КОДЕКСОВ СПЕЛЕОЛОГОВ

**Международный Союз Спелеологов (UIS)** имеет «Моральный кодекс для Исследования Пещер и Науки в Зарубежных странах». Название является несколько вводящим в заблуждение, поскольку это – важный документ, который покрывает «Спелеологические экспедиции в зарубежные страны» так же как «Приключенческий Гео- и Эко- Туризм» и «Общее посещение пещер в вашей собственной стране». Есть также руководящие принципы для «Развития экскурсионных пещер» и для «Научного отбора проб», оба из которых являются отдельными текстами в документах UIS.

**Австралийская Спелеологическая Федерация** произвела один из самых ранних «Спелеологический код Минимального Воздействия» в 1995 г., и его последняя версия (2010) находится в <https://www.caves.org.au/administration/codes-and-standards>. Этот кодекс разделен на две части: одна касающаяся общих посещений пещер и другая касающаяся исследования недавно обнаруженных пещер или участков пещер.

**Британская Спелеологическая Ассоциация** (Великобритания) создала «Спелеологические рекомендации Минимального Воздействия» в товариществе с Естественной Англией, британским Правительственным советником по естественной окружающей среде в Англии. Рекомендации стремятся минимизировать воздействие, но также и включать рекомендации для работы охраны и восстановления и в пещерах, и на поверхности.

**Новозеландский Отдел Охраны** имеет «Спелеологический кодекс заботы» который продвигает спелеологов по пути, который минимизирует воздействие на окружающую среду и других людей.

**Национальное Спелеологическое Общество** (США) имеет ряд «Спелеологических рекомендаций Минимального воздействия», которые регулярно обновляются, последний раз в феврале 2021 г., принимая во внимание пандемию Covid. Авторы вводят важный пункт, что рекомендации должны быть обновлены, поскольку больше изучено об окружающей среде пещер, и исследователи пещер оценивают и пересматривают свое спелеологическое поведение.

Во время от начала до середины XX столетия это было характерно для пещерной информации, включать местоположение входов, быть ограниченным членом спелеоклубов, которые обеспечивали степень охраны. Это все еще имеет место в некоторых странах, особенно для хрупких пещер или пещер, подвергающихся исследованию. В США в 1988 г. федеральный закон о защите Ресурсов Пещер защищает пещеры на федеральных землях, заявляя, что местоположение существенных пещер не может быть сделано доступным для общественности. Однако, в другом месте, рост интереса в региональной спелеологии привел к публикации путеводителей, обеспечивающих основной и, в некоторых случаях, весьма детальной информацией местоположения. Интернет увидел огромное увеличение присутствия информации о пещерах, включая точные местоположения входов, позволяющие любому с GPS легко определить их местонахождение. В то же самое время, был массивный рост в использовании социальных СМИ и с этим рост в числе людей и групп, испытывающих недостаток в обучении или опыте, но кто решает посетить пещеры и отправить видео их посещений онлайн. Неизбежным последствием было увеличение несчастных случаев и повреждения пещер, и преднамеренных, таких как надписи на стенах, так и удаление «сувениров», и небрежное отказа следовать по маршрутам вокруг обломочных отложений или областей с богатыми натечками, так же как пытаться сделать маркировку маршрута в пещере, используя пирамидки из камней или маркируя стены пещеры. Этот тип деятельности обеспечивает специфический вызов менеджерам охраняемой области, поскольку люди не являются частью спелеологического сообщества и поэтому не признают кодексы сохранения пещер. Обозначение на входах в пещеру или в пределах пещер может помочь, но единственное средство обеспечить полную охрану состоит в том, чтобы охранять или вход в пещеру, или доступ к чувствительной области (областям) в пределах пещеры (см. «Классификацию пещер, как инструмент управления»). Проект установки ворот в пещере требует осторожного рассмотрения, чтобы гарантировать, что они безопасны, и излишне не умаляют эстетику участка, не препятствуют движению фауны, воздуха или воды, или не запрещают извлечение пострадавшего.

Пещерный дайвинг – обычный исследовательский инструмент и, также, обсуждается в «Исследовании Пещер и документации», но в некоторых странах, предпринят как отдых в его собственном праве. В отличие от исследовательского пещерного дайвинга, который в значительной степени предпринимается людьми со спелеологическим опытом, рекреационный пещерный дайвинг обычно предпринимается открыто-водными дайверами,

которые, возможно, не полностью понимают рисков, что пещера ставит к ним или рискам, которые они ставят к подводной окружающей среде пещеры.

Рекреационные спелеологи, вовлеченные в спорт на больше, чем на несколько лет, часто специализируются на аспектах спелеологии, таких как подземная фотография, картография пещер, спасение в пещерах, пещерная наука или исследование пещер. У этого есть более широкие льготы, в такой пещере фотография может помочь способствовать пониманию сообщества ценностей пещеры, поддерживая усилия по охране; карты пещеры – существенные инструменты для менеджеров, ученых и спасательного персонала; у спасательной подготовленности есть льготы сохранения и безопасности; и сотрудничество между исследователями пещер и учеными добавляет к нашему знанию этих систем и уменьшает риск для пещер от воздействия исследователями. Спелеологические группы, как также известно, начинают проекты «забота о карсте» для выноса мусора из пещер или восстановления поврежденных объектов. Пока отношения исследователей пещер изменяются, есть много примеров очень конструктивных отношений между управлением и местными группами спелеологии. У построения этих отношений есть очевидные льготы, не последним бывает, что это поощряет согласие с условиями доступа. Некоторые охраняемые области приближаются к этому структурированным способом, вовлекая заинтересованные стороны в комитеты управления пещерой или рабочие группы. Это создает возможности диалога вокруг спорных проблем, включая ключевой для многих исследователей пещер – ограничение на доступ в пещеры. Любое наложение новых ограничений доступа будет, вероятно, отрицательно принято, и не может быть выполнено, если объяснение не будет понято спелеологическим сообществом.



*Озеро Чанделар (Chandelier), Пещера Лечугия, объект всемирного наследия Национального парка Карлсбадские пещеры, Нью-Мексико, США. Поскольку пещера имеет высокую научную ценность и уязвима к повреждениям исследователями, доступ ограничен одобренными научными исследователями, картированием и командами исследования, и связанных с управлением поездок Обслуживанием Национальных парков. План управления был издан (см. Интернет-Ресурсы). Фото Райнер Страуб (Rainer Straub).*

### **Приключенческая спелеология**

Приключенческая спелеология (также называется как «инструкторская спелеология» или «дикая спелеология») охватывает широкий диапазон очень низкого ключа к высоко организованным коммерческим подземным событиям. Многие из тех, которые предлагают приключенческий пещерный опыт, являются внештатными (работающими не по найму) инструкторами, которые выполняют роль подобную той, что для гидов гор и троп, и других связанных занятий на поверхности. Члены общественности, которая хотели бы получить спелеологический опыт и, реже, региональные исследователи пещер, которые хотели бы иметь гида в сложной системе пещер, нанимают инструкторов, которые обеспечивают все необходимое оборудование для выбранной пещеры. Спелеологические инструктора также нанимаются в наружных центрах образования, которые в значительной степени обслуживают школьные группы, хотя есть также центры и группы, обеспечивающие корпоративное «построение команды» и опыт «управления» для взрослых. Кроме того, некоторые экскурсионные пещеры предлагают приключенческую спелеологию как дополнение к туру (турам), доступные для широкой публики. Пока большинство пещерных инструкторов получает оплату за их услуги,

есть некоторые, кто обеспечивает опыт приключенческой спелеологии добровольно, наиболее особенно для организаций, таких как Бойскаутское Движение.

В развитых странах высокий уровень обучения безопасности инструкторам часто или законодательный, или страховое требование. В Австралии и Новой Зеландии, инструктора обязаны получать определенное обучение, обычно через однолетний полностью занятый курс, который покрывает все аспекты руководства приключения, включая скорую помощь, спасение и объяснение. В то время как безопасность тех, кто управляет, первостепенной важности, это существенно, чтобы дать равный вес безопасности пещеры, подчеркивая важность сохранения геонаследия и экосистем. К сожалению, некоторые пещеры все еще имеют марки прошлой плохой практики, когда для инструкторов было характерно поощрять их группу участвовать в грязевых поединках, чтобы «увеличить» подземный опыт. Это привело к повреждению важных обломочных отложений и налипанию грязи на стены пещер и натёки.

Где есть национальная спелеологическая организация, эта организация вероятно лучшее место, чтобы обеспечить свидетельство инструктора и гарантировать, что безопасности и охране уделяют равное внимание. Британская Спелеологическая Ассоциация (BCA) предлагает два национально признаваемых сертификата для пещерных инструкторов и гидов, которые ведут людей под землю – Местная Схема Оценки Руководителя Пещер и шахт (LCMLA) и Сертификат пещерного инструктора (CIC). Схема LCMLA «обеспечивает вознаграждение, признающее компетентность тех, которые желают взять ответственность за других под землей, в пользу работодателей или других во власти. Главные рассмотрения - одинаково безопасность группы и охрана хрупкой окружающей среды». Есть также местные группы инструкторов в Великобритании, такие как Пиковое Инструктивное Спелеологическое Присоединение (ЦИЦЕРО), которая покрывает английский Пиковый Район, пещерную область, и присоединен к Дербиширской Спелеологической Ассоциации, одному из региональных советов BCA. Часть сферы компетенции ЦИЦЕРО должна «распространить безопасность и информацию охраны о пещерах и шахтах, которые могут использоваться для LCMLA и CIC, проводя поездки в нашей области».



*Пещера Бреджоес (Brejões) в полусухой Бразилии, часто используется для приключенческого туризма. Она имеет большие галереи и массивные натёки. Фото Филиппа Крочет (Philippe Crochet).*

Ссылка на места, которые могут использоваться для инструктора, ведущего путешествие, очень важна, потому что она неявно признает, что есть места, которые могут быть неподходящими для пещерных приключений или потому что есть недопустимые риски безопасности для тех, кто не опытный спелеолог или потому что есть риск повреждения подземной окружающей среды. Дополнительный подход в более обширных пещерах должен предпринять оценку уязвимости и использовать её, чтобы разделить пещеры на зоны. Те галереи, которые считают здоровыми с немногими интересными объектами, восприимчивыми для повреждения, могут зонироваться для типа спелеологического приключения, который вовлекает людей с небольшим или никаким количеством предыдущего подземного опыта. Галереи со средней ценностью, вероятно, только, чтобы быть соответствующими для спелеологии приключений, если у участников есть немного опыта или если отношение инструктора (инструкторов) к участникам таково, что риск повреждения может быть минимизирован. Будут некоторые пещеры, и некоторые пещерные области, где риск повреждения геонаследия или



экосистем настолько высок, что они не являются подходящими для приключенческой спелеологии. В обязательстве оценок уязвимости важно рассмотреть пропускную способность пещеры, поскольку у посещения людьми неизбежно есть совокупные воздействия и на физические и на биологические ценности пещеры или участка пещеры.

В то время как небольшие действия глобально составляют большинство пещерных приключений, есть растущее число коммерческих предприятий, которые предлагают то, что можно назвать «высококачественным» приключением пещерного опыта, например, те, которые предлагают «рафтинг по чёрной воде» и подобные события в области Ваитомо Новой Зеландии. Один из самых длинных, и самых дорогих, управляемых пещерных туров – четырехдневный опыт, предлагаемый Компанией Приключений Оксалис в пещеру Ханг Сон Дунг (Hang Son Doong), Вьетнам, у которой есть одна из самых больших в мире по объему пещерных галерей и находящаяся в пределах объекта всемирного наследия Национального парка Фонг Нха-Ке Банг (Phong Nha-Ke Bang). Эти коммерческие предприятия имеют больше общего с экскурсионными пещерами, чем другие формы приключенческой спелеологии, в которой они требуют существенных инвестиций в инфраструктуру, высокого числа посетителей и обычно была существенная модификация инфраструктуры пещеры, чтобы улучшить безопасность или добавить к опыту посетителей. Примеры включают фиксированные маршруты восхождений и троллеи в пределах пещеры.



Приключенческая спелеология теперь включает посещения пещер со льдом с их собственным специальным набором вызовов. Айскогельхолле (Eiskogelhöhle), Австрия. Фото Ксаба Эгри (Csaba Egri).

### *Классификация пещер как инструмент управления*

Чтобы управлять пещерами, необходимо: 1) иметь реестр пещер и его содержание и 2) иметь систему классификации, чтобы идентифицировать пригодность для различного использования. Для пещер, где есть ограниченный диапазон объектов или ограниченное горизонтальное или вертикальное распространение, вся пещера – логическая единица управления для многих целей. Однако, для более протяженных пещер, и особенно тех, которые имеют внутреннюю изменчивость в их ценностях и чувствительность к воздействиям посетителей, подход зонирования, вероятно, будет более подходящим. Активная водная галерея, которая подвергается регулярному наводнению, например, вероятно, будет более устойчивой к воздействиям посетителей, чем сухая галерея верхнего уровня. Рассматривая уровень всей пещеры, местоположение нужно рассмотреть относительно области, которая окружает её, отношение к остальной части карстовой области, в которой она расположена, и к её национальному и глобальному контексту. В пределах пещеры следующий подход рекомендуется для пещер и охраняемых областей, где в настоящее время нет никакой системы:

1. Предпримите инвентаризацию пещер и отметьте черты, особенно интересные на съемке.
2. Оцените уязвимость каждого типа объектов, то есть, насколько морфология галерей пещеры является вообще устойчивой, насколько натёки и обломочные отложения, более вероятно, могут быть легко повреждены.

3. Идентифицируйте потенциальное использование пещеры, такое как рекреационная спелеология, управляемая приключенческая спелеология, прохождение и исследования.
4. Основываясь на пунктах 1-3, идентифицируйте зоны в пределах пещеры, которые являются подходящими для специфического использования. Простая схема, которая может быть принята, чтобы удовлетворить местным факторам, состоит в том, чтобы сортировать галереи или области пещеры как:
  - *Низкой чувствительности.* Области пещеры, которые считают устойчивыми и способными противостоять почти преднамеренному разрушению. Они являются подходящими для всех видов использования.
  - *Умеренной чувствительности.* Области, где есть интересные объекты, которые могли быть легко повреждены, если основные предосторожности и охрана не используются. Эти области являются подходящими для рекреационной спелеологии, которые являются ознакомленными, и соблюдают спелеологический кодекс минимального воздействия. Они не являются подходящими для управляемой приключенческой спелеологии, но могут использоваться для маленьких групп приключенческой спелеологии с соответственно компетентным лидером. Исследование с целью обнаружения новых галерей и научные исследования могут быть позволены, подчиняясь проектному предложению и оценке воздействия.
  - *Высокой чувствительности.* Области с высокой ценностью, легко повреждаемыми объектами. Использование этих областей должно быть минимизировано и должны быть средства управления, чтобы минимизировать воздействия. Рекреационные спелеологи обязаны обеспечивать серьезное основание для того, чтобы получить доступ (например, фотография) и обязаны посещать с лидером, у которого есть конкретное знание пещеры или её интересных объектов. Исследование с целью обнаружения новых галерей и для научных исследований должно быть позволено только после формы анализа «затраты – выгода», который оценивает риск повреждения против вероятности благоприятного итога и ценности открытий.
  - *Чрезвычайной чувствительности.* Участок пещеры, который имеет очень высокую ценность, где есть высокий риск повреждения. Эти участки должны быть запрещены для посещения, кроме при исключительных обстоятельствах, то есть, исследование, которое стремится понять специфические объекты в чувствительной области.

### *Спасение в пещерах*

Как со всеми формами наружного отдыха, есть риск инцидента, происходящего в пещере, который помещает человека или людей в положение, когда они должны быть спасены. В пещерах есть четыре главных объективных опасности: гипотермия, материальный крах, наводнение и опасные газы. Все другие опасности субъективны и связаны с посетителями. Примеры включают медицинские чрезвычайные ситуации, такие как сердечный приступ, который мог бы произойти в другом месте, но который случается, в то время как человек находится под землей, человек или группа, входящая в пещеру, и неспособная найти путь назад к входу, или пойманная в ловушку наводнением, и несчастные случаи, выводящие человека из строя. В большинстве стран, где есть длинная история спелеологии, есть национальные или местные спасательные пещерные организации, которые или предпринимает спасение под землей непосредственно, или помогают аварийным службам государства в выполнении спасения. Спасение в пещерах является вообще трудным, особенно если оно требует транспортировку пострадавшего, и имеет потенциал воздействия на пещеру. Приоритет в любом спасении – безопасность и здоровье спасателей и тех, кого спасают, но, насколько это реально, спасение должно минимально воздействовать на окружающую среду пещеры. Где спасательная команда в значительной степени или полностью составлена из опытных спелеологов, они будут пытаться минимизировать свои воздействия на пещеру и есть, по крайней мере, один «Кодекс Минимального Воздействия при Спасении в Пещерах», который был принят в 2006 г. австралийской Комиссией Спасения в Пещерах с главным пересмотром в 2019 г. (см. Интернет-Ресурсы).

### *Биологические воздействия посещения пещер*

Пещеры обеспечивают среду обитания для множества животных. Летучие мыши являются самыми известными и наиболее широко глобально представлены. Другие известные позвоночные животные - пещерные рыбы и саламандры, в то время как больше всего распространены специализировано приспособленные к пещерам беспозвоночные. Многие из этих животных имеют ограниченное распространение. Спелеологическая деятельность может неблагоприятно затронуть пещерных животных непосредственно, как в случае маленьких беспозвоночных, раненных или перемещенных людьми,двигающимися через пещеру, или косвенно, как в случае введения болезнетворных микроорганизмов, питательных веществ или изменениями в среде обитания. Последствия для биологического разнообразия этих воздействий вряд ли можно полностью оценить без адекватного исследования. Потенциальные стратегии охраны включают планы сохранения видов; информационные продукты, чтобы поднять понимание минимальных спелеологических методов воздействия для защиты фауны; восстановление среды обитания; и ограничения на доступ к критическим средам обитания через зонирование. Некоторые пещеры являются средними или окружающая среда низкой энергии, с чрезвычайно маленьким приходом энергии по человеческой шкале времени. Вход одного спелеолога в эти пещеры может изменить энергетический баланс, затрагивая там тепло, свет и питательные вещества. Одним фактором,

который только стал очевидным с 1990-ых гг., является потенциальное внесение микрофлоры и микрофауны исследователями пещер. Эффекты посетителей пещер являются вообще кумулятивными и весьма возможно синергистическими (действующими совместно).

В отличие от нарушений на поверхности, следы или эффекты человеческих действий в подземной окружающей среде средней или низкой энергии могут сохраниться в течение сотен или даже тысяч лет. Например, то что, как полагают, является следами кроманьонцев возрастом около 48000 лет, были обнаружены на поверхности осадочных отложений в Пещере Чаувет (Chauvet), Франция. Особенное беспокойство вызывает Синдром Белого носа (WNS), сильная инфекционная грибковая болезнь, которая убила миллионы живущих в пещерах летучих мышей в Северной Америке и в других местах, начиная с её первого появления в 2006 г. Она вызвана грибом *Pseudogymnoascus destructans*, который был идентифицирован на летучих мышах и в Европе, и в Китае, не вызывая популяционные снижения. Предпочитая высокую влажность, он растет на и неблагоприятно воздействует на зимующих живущих в пещере летучих мышей, в то время как они находятся в вялости. Видимые признаки включают нечеткие белые участки на носу летучей мыши и белые участки на теле и крыльях. Это является часто фатальным. Гриб был сначала найден в североамериканской экскурсионной пещере, предполагая, что он, возможно, был внесен на ботинках туристов из другой страны. Люди могут распространять грибы из одной пещеры с зимовкой летучих мышей до другой, случайно принося грибы на ботинках, одежде или пещерном снаряжении. Туристы, посещающие экскурсионные пещеры, могут также широко распространить эту болезнь. Процедуры, такие как станции дезактивации обуви, были теперь установлены в экскурсионных пещерах, таких как Мамонтова пещера в Кентукки, и широко приняты рекреационными спелеологами всюду по Соединенным Штатам и в некоторых других странах. Процедуры дезактивации пещерной одежды и снаряжения были предложены Командой Дезактивации WNS (см. Интернет-Ресурсы). В то время как эти процедуры были ответом на определенную проблему, их рекомендуют для всех спелеологов, особенно тех, которые посещают охраняемые области. Однако, первична передача WNS от летучей мыши к летучей мыши. Многие летучие мыши – социальные млекопитающие и мигрируют от мест летнего питания до пещер размножения, затем к местам зимней спячки. Грибы найдены как на летучих мышах, так же как на отложениях в окружающей среде пещер.

В дополнение к потенциалу для спелеологов неосторожно воздействовать на микробиологию пещеры, в некоторых частях мира вход в пещеры представляет потенциальную угрозу для человеческого здоровья. Самый широко распространенный и известный риск от инфекции гистоплазмоза, вызванной вдыханием спор гриба, часто находящегося в капели с птиц и летучих мышей. Летучие мыши могут также быть переносчиками других болезней и их могут трогать только опытные исследователи, с обязательствами одобренных исследований. Риски здоровью должны явиться частью любой оценки риска для пещеры.

### *Процедуры дезактивации одежды и оборудования спелеологов*

Для аппаратов, действующих в воде:

- Полностью очистить снаряжение спелеолога, удаляя всю грязь и загрязнения.
- Погружение в горячую воду, поддерживая температуру более 55°C как минимум 20 минут.

Для аппаратов, не действующих в воде:

- Дезинфекция с использованием 6%-го спрея перекиси водорода, или вытирают дезинфицирующим средством на основе изопропилового спирта.
- Ботинки должны быть вычищены, чтобы удалить всю грязь и загрязнения, затем стерилизуют как выше.

Любое снаряжение, который было взято в потенциально зараженной пещере, и не может быть очищено, используя соответствующие процедуры дезактивации, не должно быть взято в пещеры других областей или спелеологами других стран. Некоторые охраняемые области не будут позволять использовать снаряжение, которое было в потенциально зараженных пещерах, даже если дезактивировано.

### *Непредвиденные пользователи пещер*

В течение XXI столетия постоянно увеличивающееся требование на «опыт приключений» привело к некоторым пещерам, используемым как часть беговых событий, и есть случаи, в которых механизированные транспортные средства использовались в пещерах. Беговые события, которые имеют место в экскурсионных пещерах и используют существующую инфраструктуру, вряд ли окажут существенное дополнительное влияние вне уже известных. То же самое относится к управлению на галереях, которые проходят через реликтовые пещеры, которые формируют естественные арки. Однако, использование диких пещер для этого типа случая, или для других конкурентоспособных или спортивных событий, не должно быть разрешено, поскольку невозможно избежать повреждения геонаследия и экосистем. Подобные рассматривания относятся к использованию электрически приведенного в действие подземных транспортных

средств как, хотя есть длинная история их использования в некоторых экскурсионных пещерах, полностью неуместно позволить любую форму механизированного транспортного средства в диких пещерах из-за повреждения, которым оно неизбежно закончится.

## Рекомендации

- (12) *Реестр пещер желателен как основание для управления. Объекты, особенно интересные в каждой пещере, должны быть идентифицированы на карте.*
- (13) *Оценка риска желательна и должна покрывать группы пещер, индивидуальные пещеры, или участки в пределах пещеры, как соответствующие месту. Оценка должна покрывать и риск человеческим исследователям и риск, что исследователи приносят в пещеру. Уязвимость каждого типа объекта должна быть оценена, чтобы облегчить идентификацию пещер, или зон в пределах пещер, которые являются подходящими для специфического использования.*
- (14) *К управлению воздействий спелеологов лучше всего приближаются через стратегический процесс планирования с участием заинтересованных лиц. Соответствующий подход, вероятно, потребует комбинации инициатив, из которых политика доступа будет всегда играть ключевую роль.*
- (15) *Любой инструктор, предлагающий приключенческую спелеологию, должен быть в состоянии обеспечить свидетельство, что он получил адекватное обучение в аспектах безопасности и в охране пещер.*
- (16) *Все спелеологи, как ожидается, будут знакомы с, и будут следовать спелеологическому коду, минимального воздействия (МИСС). Где никакой национальный или региональный МИСС не относится к охраняемой области, специальный кодекс должен быть разработан на основе изданных кодексов.*
- (17) *Копанием, оригинальным исследованием и изучением в пещерах в пределах охраняемых областей нужно управлять через определенные соглашения или требуя пропуска.*
- (18) *Менеджерам охраняемой области рекомендуют составить план, который может быть осуществлен, если спелеологический несчастный случай произойдет в области. План должен быть составлен с участием от региональной или национальной спелеологической организации и государственных органов, ответственных за несчастный случай и чрезвычайные ситуации, и должен включать рекомендации, чтобы минимизировать воздействие спасения на пещеру и на поверхность.*
- (19) *Полностью неуместно позволить любую форму механизированного транспорта в диких пещерах, и дикие пещеры никогда не должны использоваться для беговых событий или для других типов спортивных событий.*

## Экскурсионные пещеры

### Введение

В этом документе мы используем термин экскурсионная пещера и туристская пещера попеременно, чтобы описать пещеру, к которой публика может получить доступ при оплате за вход. Некоторые из этих пещер принадлежат и/или управляются федеральными, государственными или местными правительственными властями. Некоторыми экскурсионными пещерами, находящимися в собственности правительства, управляют концессионеры, в то время как многие другие экскурсионные пещеры являются частными и управляемыми. В наиболее охраняемых областях имеется только несколько экскурсионных пещер, с большой частью участков, используемых или для приключенческой или для рекреационной спелеологии (см. Рекреационная и приключенческая спелеология). Пещеры, используемые в религиозных целях, таких как святыни или церкви, как полагают, являются специальным типом экскурсионных пещер. Объединение пещер и религиозных методов (включая шаманство) распространено во многих религиях, и некоторые пещеры были преобразованы в храмы. Эти пещеры являются особенно частыми в католических и буддистских странах и получают значительное число посетителей, включая и туристов, и людей, желающих просить или поклоняться (см. Некоторые ценности карста и пещер). Степень модификации изменяется широко, от простых убежищ или гротов с религиозными изображениями до больших часовен. Некоторые пещеры используются как церкви с сидячими местами, алтарями и святынями и имеют регулярные мессы и назначенного священника. Пещеры, используемые для религиозных практик, обычно управляют религиозные власти, и воздействия их использования на окружающую среду пещеры редко рассматривают. Поэтому, остаток этой главы обсуждает только нерелигиозное использование пещер, хотя принципы одинаково применимы к пещерам, используемым в религиозных целях.

Международная Ассоциация Экскурсионных Пещер (ISCA) подготовила «Международные Рекомендации для Развития и Управления Экскурсионными Пещерами» в сотрудничестве с IUCN и UIS (см. Интернет-Ресурсы). Цель этих рекомендаций состоит в том, чтобы дать представление о лучших методах для развития и управления экскурсионными пещерами везде, где они могут быть расположены в мире. Это не цель Международных Рекомендаций создать твердые правила, или чтобы они рассматривались как законы. Они – рекомендации для профессионального подхода для развития и управления пещерами. Много экскурсионных пещер работало в течение многих десятилетий и некоторые в течение сотен лет. В своих рекомендациях ISCA признает, что существующие экскурсионные пещеры могут найти

трудным, и в некоторых случаях невозможным выполнение всех Международных Рекомендаций. В этих случаях Рекомендации ISCA обеспечивают примеры лучших методов и стандартов, которые могут работать в течение долгого времени.

Международные Рекомендации должны считаться авторитетным источником для развития экскурсионных пещер и лучших методов управления, и предназначены для охраны в обновленном формате и с принятием во внимание новой информации и результатов. Это особенно важно в охраняемых областях, где экскурсионными пещерами нужно управлять по максимально возможным стандартам и обеспечить образцы тем экскурсионным пещерам, которые действуют вне охраняемых областей. Там, где необходимо заменить инфраструктуру, например, это должно быть сделано после оценки лучшего выбора для окружающей среды пещеры, а не простое замены «как для подобного».



*Большой зал (Big Room) на туристском маршруте через Карлсбадскую Пещеру, Нью-Мексико, США. Это – единственная экскурсионная пещера в Национальном парке Карлсбадских Пещер – объекте всемирного наследия. Есть много других пещер, некоторые из которых открыты для приключенческой спелеологии, в то время как к другим могут получить доступ только ученые и другие, работающие под системой пропусков. Фото Ксаба Эгри (Csaba Egri).*

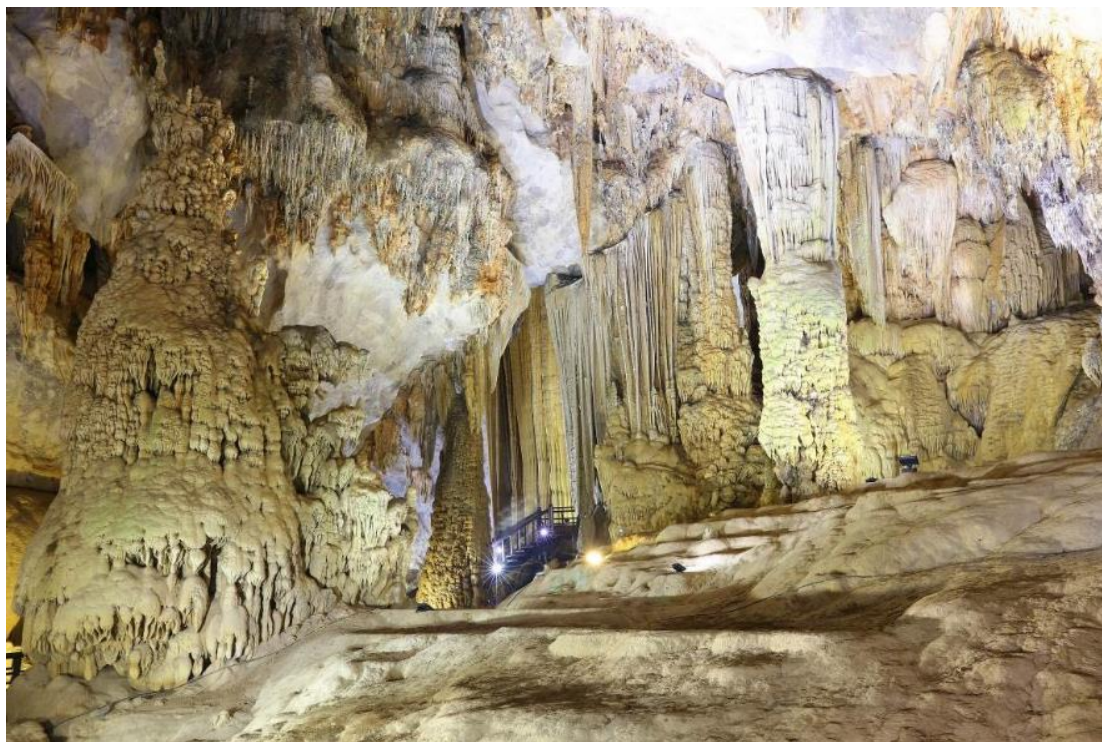
Это факт, что общие правила никогда не могут быть применимыми абсолютно ко всем ситуациям. Могли быть необычные параметры в некоторых пещерах всего мира, где по приемлемым причинам некоторые части этих рекомендаций не могли быть применены без огромных трудностей. Эти Рекомендации и Международные Рекомендации ISCA предоставлены как цели, что экскурсионные пещеры могут работать в соответствии с их обстоятельствами и экономической способностью. Кроме того, есть много национальных ассоциаций управления экскурсионными пещерами, таких как ABIS (Ассоциация британских и ирландских экскурсионных Пещер), АСКМА (Australasian Cave and Karst Management Association Inc, ANECAT (французская Национальная Ассоциация Операторов Пещер, Развитых для Туризма) и NCA (США Национальная Ассоциация Пещер), которые делятся лучшими практиками развития и управления экскурсионными пещерами с участниками и коллегами. Рекомендации, которые мы представляем, являются дополнением к предоставленным ISCA.

### *Соображения для превращения пещеры в экскурсионную пещеру*

Где экскурсионные пещеры были уже развиты, входная плата и доход от других удобств, таких как продажа сувениров, кафе с пищей и напитками и другие вспомогательные точки притяжения, обычно являются важным потоком дохода, и пещеры представляют ценный источник местной занятости. Они могут также обеспечить охрану окружающей среды пещеры, если угрожают проблемы, такие как вандализм. Это обеспечивает стимул открывать новые экскурсионные пещеры, особенно в развивающихся странах. Однако, прежде чем любое такое превращение произойдет, должно быть проведено полное исследование влияния на экономику и жизнеспособность предложенного проекта, так же как оценка воздействия на окружающую среду, которая включает рассмотрение эффектов развития на интерес биологической и

земной науки в пещере. Превращение должно продолжиться только тогда, когда можно показать: 1) что влияниями можно успешно управлять и что на месте есть достаточное финансирование для строительства, которое выполняет экологические и общественные требования безопасности, и 2) что вероятный поток дохода позволит пещере управляться в экологически ответственной и жизнеспособной манере. В частности важно предотвратить начавшееся, но не законченное превращение, таким образом, оставляя пещеру в самом уязвимом состоянии, или если экскурсионная пещера открывается, но не привлекает достаточное количество туристов, чтобы обеспечить доход, требуемый для длительной жизнеспособной и ответственной деятельности. Кроме того, может быть приемлемым открыть пещеры для посещения общественностью, когда экономический план не положителен, но экономический успех гарантируется государством или даже местным клубом добровольцев. Хорошо управляемая экскурсионная пещера обычно обеспечивает охрану для пещеры, так же как обеспечение источника дохода и образования для местной экономики.

Экскурсионные пещеры – средство, при помощи которого большая часть общественности познает подземную окружающую среду. Также они обеспечивают большую возможность объяснить культурную, историческую и научную важность и недолговечность окружающей среды пещер. Это особенно важно в охраняемых областях, где пещеры обычно – первичная причина для назначения охраны.



*Пещера Парадайс (Paradise) – экскурсионная пещера в национальном парке Фонг Нха-Ке Банг (Phong Nha-Ke Bang), объект всемирного наследия ЮНЕСКО, Вьетнам. Фото Стивена Бурне (Steven Bourne).*

### **Безопасность**

Безопасность посетителей и служащих должна быть основной целью любой экскурсионной пещеры. Безопасность должна быть и на поверхности и под землей и включать все части имущества. Транспортный вход и выход с территории объекта должны быть через соответственно появившиеся дороги и стоянки. Хорошая организация является существенной. Не всегда возможно выполнить стандарты строительных норм и правил под землей. В планировании путей в пещере безопасность посетителя должна быть первичным рассмотрением. Высота в рост человека особенно важна под землей, а где адекватная высота не достижима, должны быть даны предупреждения, чтобы предотвратить потенциальное ранение. Перила должны быть предоставлены, где необходимо.

Планирование безопасности включает удостоверение, что аварийные службы могут получить доступ к пещере самым лучшим способом. Отношения должны быть установлены с местными аварийными службами, так, чтобы все знали об ограничениях и трудностях, с которыми столкнутся при спасении в пещере, которое обычно вовлекает большое физическое усилие, и может оказать серьезное влияние на окружающую среду пещеры непосредственно, если нет её планов. Соответствующее обучение спасению и скорой помощи должны также быть предоставлены штату экскурсионной пещеры.

### **Пропускная способность посетителей**

«Пропускная способность посетителей» экскурсионной пещеры является инструментом планирования и управления для того, чтобы установить максимальное число посетителей, которых пещера может разместить в туре или в течение данного периода времени. Определение пропускной способности посетителей экскурсионной пещеры находит баланс между обеспечением безопасного, информативного и приятного опыта тура в пещере для посетителей и уменьшением воздействия на окружающую среду пещеры, достигая экономических целей. Все эти факторы нужно рассмотреть, определяя, должна ли соответствующая пропускная способность посетителей для экскурсионной пещеры быть действительно экологически рациональной.

Следующая информация будет направлена на фактор уменьшения воздействий на окружающую среду. Посещения туристами экскурсионных пещер имеет небольшую степень воздействия, но негативные воздействия могут быть минимизированы и возмещение посетителями увеличивается, благодаря хорошим процедурам и практикам управления посетителями. Первым шагом является рассмотрение физических параметров. Поток посетителей должен быть разделен на входящий, проходящий и выходящий из пещеры в эффективной манере, которая минимизирует воздействие. Факторы для рассмотрения включают размер галерей, расстояния от натёков, инфраструктуру (такая как рельсы), и если гости входят и выходят из пещеры в разных местах, обеспечивая линейный поток посетителей, или если они входят и выходят в то же самое место. Если посетители будут проходить друг за другом в пещере, эти положения, как полагают, гарантируют адекватное пространство.

Второй шаг рассматривает экологические параметры, такие как вентиляционная струя, качество воздуха, температура, влажность и фауна пещеры. Большие количества посетителей в некоторых пещерах могут значительно поднять температуру воздуха и концентрацию углекислого газа. Один человек выделяет энергию тепла около 80-120 ватт, около того, что выделяет одна горящая лампочка. Таким образом, группа из 50 или 60 человек в туре в пещере может в местном масштабе поднять температуру на 1-2°C. Управление экскурсионной пещерой должно гарантировать, что эти колебания лежат в пределах диапазона естественного изменения в пещере, и что температура возвращается к нормальным значениям в течение короткого промежутка времени при нормальных обстоятельствах. Увеличения концентрации CO<sub>2</sub> из-за дыхания посетителей могут колебаться от 1500-5000 ppm, в каких точках некоторые люди могут начать беспокоиться. Управление уровнем углекислого газа в некоторых пещерах могут потребовать эффективного мониторинга в соответствии с необходимыми стандартами здоровья. Вентиляционные шахты или изменяющиеся двери для улучшения обращения воздуха могут улучшить качество воздуха в некоторых пещерах, однако мероприятия, такие как эти нужно тщательно рассмотреть и применить как не создающие проблемы, такие как изменение естественной окружающей среды пещеры.



*Посетители на введомом туре в Пещере Барадла Домица (Baradla Domica), которая впервые открылась как экскурсионная пещера в 1806 г. Система пещеры пересекается границей между Венгрией и Словакией и находится в Пещерах Агтелека и словацкого Карстового объекта всемирного наследия. Пещера находится также в двух отдельных Биосферных заповедниках ЮНЕСКО – Агтелеке, Венгрии и Словенский карст (Словакия) – и в двух отдельных участках Ramsar (система Пещеры Барадла и связанные заболоченные места, Венгрия и Домица, Словакия). Фото Ксаба Эгри (Csaba Egri).*

Присутствие пещерной фауны, такой как летучие мыши или приспособленные к пещере виды, должны быть учтены также, с целью уменьшения воздействий на те существа, которые обитают в пещере. В местах спячки летучих мышей в экскурсионных пещерах, должна быть специальная забота, чтобы гарантировать, что летучие мыши не будут потревожены посетителями, особенно когда они зимуют или размножаются.

Поскольку физические признаки и экологические параметры каждой пещеры являются специфичными, пропускные способности посетителей пещеры не могут быть применены однородно, но должны быть индивидуально определены для каждой определенной экскурсионной пещеры и опыта туров экскурсионной пещеры. Много экскурсионных пещер используют экономику как инструмент, чтобы максимизировать впечатления посетителя и минимизировать воздействие на окружающую среду. Одним примером является увеличение входной платы в сезон или в периоды увеличенного наплыва посетителей, названное «переменной стоимостью», чтобы уменьшить переполнение в периоды наплыва, которые могут улучшить опыт посетителя, в то же самое время минимизируя воздействия на окружающую среду из-за переполнения. Другим примером экскурсионных пещер, учитывающих все факторы при принятии решений о вместимости посетителей, могут быть напряженные праздничные выходные, когда руководство может решить, что экономические выгоды перевешивают воздействие на окружающую среду большего, чем обычно, числа посетителей, что приводит к повышению температуры в пещере выше нормы в течение ограниченного числа дней.

Это – ответственность управления экскурсионной пещерой взять каждое из этих воздействий на окружающую среду на рассмотрение и взвесить их рядом с впечатлениями посетителей и экономическими факторами, чтобы установить максимальную пропускную способность посетителей пещеры для своей определенной экскурсионной пещеры.

### *Доступ в экскурсионные пещеры*

Одно из первых и самых очевидных воздействий развития пещеры для туризма является модификация существующего входа (деятельность, которая также иногда предпринимается, чтобы управлять доступом в дикие пещеры), или строительство нового входа. Во многих экскурсионных пещерах это необходимо, чтобы обеспечить другой доступ в экскурсионную пещеру для посетителей, чем доступ в естественную пещеру, которая использовалась перед преобразованием пещеры в экскурсионную пещеру. Такой искусственный доступ может быть через туннель или новый вход, прокопанный в пещеру. Когда искусственный вход создан, он может изменить циркуляцию воздуха в пещере и вызвать нарушение в её экосистеме. Чтобы избежать любого нарушения циркуляции воздуха в пещере, воздушный шлюз должен быть установлен в любом искусственном входе в пещеру. Решение не устанавливать воздушный шлюз должно быть принято только после выполнения специального исследования. Предпочтительным считается метод создания эффективной системы воздушного шлюза с помощью двойного набора дверей.

Когда у экскурсионных пещер есть естественный вход, подходящий для посетителей, соответствующая форма управления доступом должна быть установлена. В прошлом было принято либо заполнять, или устанавливать ворота на любые входы, которые позволяли бы посетителям обходить желательный основной пункт входа, за который взимается плата. Это оказало неблагоприятное влияние ограничения или даже полного предотвращения поступления питательных веществ и движения фауны пещеры, особенно летучих мышей. Если ворота установлены во входах и галереях, используемых летучими мышами, желательно, чтобы их верхние участки имели горизонтальное пространство 15 см высотой, и 45-75 см шириной. Эти воздушные промежутки позволят летучим мышам иметь свободный доступ. Все новые ворота пещеры должны быть разработаны так, чтобы позволить свободный проход для летучих мышей, и старые ворота должны быть заменены благоприятными для летучей мыши проектами. Некоторые виды избегают любых ворот, однако, тогда альтернативное решение, такое как ограждение, должно быть найдено (см. Интернет-Ресурсы: ворота пещеры).

### *Работы на поверхности*

Чтобы связать топографию места с подземной полостью пещеры, необходимо иметь план участка, который изображает детали поверхности и подземные детали пещеры. Эта информация столь же важна по отношению к существующей экскурсионной пещере, как и в случае планируемой полости. Когда отношения между наземными объектами и подземными деталями становятся известными, тогда факторы, связанные с водой, могут быть оценены. Во многих случаях единственным фактором может быть просачивание поверхностной воды вниз через горную породу выше пещеры, которая не должна быть потревожена. Кроме того, риск, что поверхностные воды получают доступ к пещере как паводковая вода, должен быть очень тщательно исследован.

Важно, что крупные поверхностные объекты, такие как здания и стоянки, не должны быть помещены непосредственно выше водосборного бассейна пещеры (входы в пещеру и те каналы, дренирующиеся в неё), где происходит естественное просачивание дождевой воды с поверхности до пещеры. Если есть потенциал для естественного просачивания, которое препятствуется, другие решения должны быть найдены. Эти решения могут быть столь же простыми, как преобразование поверхности водонепроницаемой стоянки в форму покрытия, которое позволит проход дождевой воды через него. Там где здания расположены выше пещеры, они должны предпочтительно быть перемещены или, если финансы не разрешают переселение, перемещены, когда здание окажется в конце его жизни. Стоку воды с крыш и других твердых поверхностей нельзя позволять концентрироваться и он должна быть широко



рассеян. Также важно гарантировать, что от любых сточных вод, произведенных на участке, избавляются должным образом и не позволяют загрязнять мир под землей.

Есть естественная тенденция пытаться и помещать здания, необходимые для операций экскурсионной пещеры как можно ближе к входу в пещеру, и в некоторых случаях организовывать вход или выход из экскурсионной пещеры в пределах здания, у которого есть другое использование, обычно как музей, центр интерпретации или магазин сувениров. Однако у многих пещер есть естественно высокие концентрации радона, радиоактивного газа, и если ему позволят просочиться из пещеры в места, где работают сотрудники, то они накопят радиационную дозу. Следовательно, это – хорошая практика, чтобы гарантировать, что имеется проветриваемая область между входом и/или выходом в пещеру и любым зданием, в котором работают сотрудники.

### *Инфраструктура внутри экскурсионной пещеры*

Оборудование пещер для туризма обычно требует физического изменения естественных галерей, так же как установку освещения, троп, площадок и связанной инфраструктуры. Во всяком новом оборудовании, нуждается ли в нем существующая экскурсионная пещера или новый участок, инфраструктура должна быть тщательно оценена, разработана и установлена. Ясно, что есть потребность обеспечить удовлетворение посетителей и безопасность, но цель должна состоять в том, чтобы минимизировать изменение или нарушение в естественной окружающей среде пещеры. Оборудование должно стремиться 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 учесть большее число туристов, включая лифты, автобусы и поезда. Эти типы транспорта, будучи дружественными к посетителям с проблемами подвижности, могут повлечь главные изменения в окружающей среде пещеры, и также должны быть тщательно запланированы.

### *Дорожки экскурсионной пещеры*

Дорожки – существенный компонент для обеспечения длительной и безопасной пешеходной поверхности и определенных границ для посетителей, чтобы остаться в их пределах. Туристские маршруты через пещеру должны быть разработаны, чтобы оказать минимальное влияние на биологические среды обитания в пределах пещеры и на натёки. Проектирование пещерных дорожек должно привести посетителя достаточно близко к главным пунктам интереса, таким образом, они могут видеть и сфотографировать их, но не так близко, чтобы они могли коснуться или разрушить их. Слои пещерных отложений должны быть защищены поднятыми дорожками, чтобы можно было сохранить ценность среды обитания, окаменелости и историю осадконакопления.

Дорожки в пещере не должны быть чрезмерно широкими. Например, это не необходимо – хотя желательно – для двух рядом идущих человек. Единственный ряд передвижения гуськом адекватен, но желательно создать некоторые специальные более широкие площадки, где группа тура может быть собрана, чтобы слушать гида. Тропы в экскурсионной пещере могут использоваться для размещения сервисных труб, трубопроводов и кабелей, или под поверхностью тропы, или около нее. Предпочтительно, чтобы эти сооружения не были заключены в кожух из бетона. Выключатели контроля системы освещения должны быть доступными с тропы.

Дорожка должна состоять из трех фундаментальных компонентов, включая пешеходную поверхность, бордюрный камень и перила. Желательно, чтобы материалы, используемые в монтаже троп, оказали наименее возможное влияние и на эстетику пещеры, и на ее подземную окружающую среду.

### *Пешеходные дорожки*



*Поднятая дорожка в экскурсионной пещере Гуфр д'Эспаррос (Gouffre d'Esparros), Франция. Стрелка указывает, что сеть используется для обеспечения дополнительной защиты и предотвращать падение отложений на натек внизу. Фото Джона Гунна(John Gunn).*

Материалы, используемые для пешеходных дорожек, должны быть нетоксичными к окружающей среде пещеры. Традиционно, и особенно в известняковых пещерах, привилегированным материалом для пешеходных поверхностей был бетон, который является вообще самым близким веществом к породе, в которой сформирована пещера. Бетон также широко использовался там, где тропы не могут быть подняты. У бетона есть отличные преимущества, включая эстетическое смешение с пещерой, и долговечность, однако его неудобства включают его вес, потенциальный беспорядок, когда его смешивают и выливают, и трудность удаления его, как только он затвердеет. Есть также некоторое свидетельство, что у сточных вод с бетона могут быть неблагоприятные биологические воздействия. Может быть сделан бетон, имеющий малую плотность, используя перлит, пемзу, или вулканический шлак, и которые предлагают немного преимуществ в терминах уменьшенного веса, сохраняя адекватную прочность тропы. Ограждения из нержавеющей стали также начали быть все более и более популярными, как материал для строительства троп. У нержавеющей стали есть серьезное неудобство – она дорогая и требует использования специальных методов сборки и установки. Стекловолокно, укрепленное пластмассой (FRP), соединенное крепежом из нержавеющей стали, является другим популярным материалом для пещерных троп с более низкой стоимостью и весом, чем нержавеющая сталь.

Поднятые пешеходные дорожки, построенные из нержавеющей стали, FRP или других решетчатых материалов, имеют преимущество службы в течение долгого времени, требуют очень небольшого обслуживания, оказывая уменьшенное влияние на пол пещеры и могут быть относительно легко удалены, так, чтобы в случае необходимости пещера могла быть почти возвращена к её естественному состоянию. Однако, решетки (сетки) всех типов позволяет корпии, хламу, грязи, илу и маленьким объектам провалиться на пол пещеры и, если проект не принимает это во внимание, может стать очень трудным удаление решетки и уборка пола пещеры под ней.

## Бордюры

Бордюры или защитные брусья имеют несколько отдельных целей. Во-первых, нужно сдерживать ноги посетителей, что защищает объекты пещеры вне тропы. Во-вторых, что за пределами бордюров, в стороне от тропы, обеспечивается удобное место для сервисных трубопроводов, труб и кабелей. Бордюры могут также помочь удержать корпию и другой мусор от посетителей.

## Перила

Перила (или поручни) обеспечивают стабильность или поддержку посетителям, препятствуя уходу с тропы, где это может быть хрупким или опасным. Излюбленным материалом для изготовления поручней в экскурсионных пещерах была нержавеющая сталь. Преимущества этого материала заключаются в том, что он практически не требует технического обслуживания, может быть собран и сварен в пещере и потенциально может быть использован в качестве водопровода для подачи пресной воды в пещеру. Неудобства этого материала – его высокая стоимость и яркость – поскольку это может эстетически не нравиться. Использование проволочного троса из нержавеющей стали, а не тело

промежуточных стоек или твердых перил, которые установлены непосредственно ниже фактических перил, может значительно уменьшить визуальное воздействие твердой стали. Кривые, а не острые угловые изгибы также помогают. Перила из пластмассы, укрепленной стекловолокном (FRP) с крепежом из нержавеющей стали теперь становятся более популярными и обеспечивают эффективное и более низкое решение по стоимости.

В то время как инфраструктура, такая как дорожки, предназначена предоставить безопасный доступ посетителям и защитить пещеру от их воздействия, установка самой инфраструктуры может вызвать главные воздействия, если не сделана тщательно. Оценка воздействия на окружающую среду должна быть проведена, и экологическое ослабление и план управления (EMMP) должны быть составлены прежде, чем строительные работы начинаются. EMMP должны быть осуществлены и проверены, чтобы минимизировать повреждения пещерных ресурсов во время строительства.

## *Освещение пещеры*

Баланс энергии экскурсионной пещеры идеально должен быть в пределах диапазона естественных изменений (до оборудования). Электрическое освещение выделяет как свет, так и тепло, таким образом, любые фонари должны иметь высокую эффективность, производя самое низкое количество тепла насколько возможно. Много экскурсионных пещер заменили старые системы освещения современным высоко производительным светодиодным (LED) освещением, возбуждаемым электропитанием низкого напряжения, и они должны использоваться при всяком новом оборудовании пещер и при модернизации освещения в пещерах.

В экскурсионных пещерах, где посетители двигаются в группе, выгодно разделить маршрут тура на зоны, в которых огни включаются или выключаются гидом. Это позволяет освещать только часть или части пещеры, которые заняты посетителями. Это важно для сокращения нагревания окружающей среды пещеры и предотвращения роста лампенфлоры, так же как сокращение количества требуемой энергии и её финансовой стоимости. В экскурсионных пещерах, где посетители двигаются индивидуально, освещение может быть связано с датчиками движения и таймерами. Электрическая система должна быть установлена в сейфе с хорошо согласованной схемой.

Важно, что некоторая форма пожарного освещения должна всегда быть доступной в случае отказа в главном электропитании. Пожарное освещение должно всегда быть доступным, является ли это полным непрерывным электропитанием или системой пожарного освещения с независимым электропитанием. Местные кодексы могут быть применимыми, и они могут разрешить батарейные лампы или подобные устройства.

Одно важное рассмотрение в любой схеме освещения, как поместить легкие крепления, провода и электроштиты, чтобы минимизировать и визуальные воздействия, и повреждение пещеры. Лампенфлора – общее последствие использования искусственного света в пещере. Много видов водорослей и других высших растений могут развиваться в результате использования искусственного света. У освещения должен быть спектр эмиссии с самым низким вкладом в спектр поглощения хлорофилла, чтобы минимизировать рост лампенфлоры. Другой способ предотвратить рост лампенфлоры состоит в том, чтобы уменьшить уровень энергии, достигающий поверхности, где растения могут жить. Безопасное расстояние между лампой и поверхностью в пещере зависит от интенсивности лампы. По грубой прикидке расстояние одного метра может быть безопасным. Свет должен быть тщательно направлен на объект для её освещения, и нужно избегать рассеивания света на окружающие области или в глаза посетителей, ограждение легкими защитами очень полезно в этом отношении. В прошлом теплые фонари, расположенные слишком близко к натёкам или наскальной живописи, вызывали существенные повреждения, хотя возникает меньше проблем, когда используется прохладное LED освещение.

Проект освещения, который избегает чрезмерного освещения, не только минимизирует воздействия на окружающую среду в пещере, но и может также увеличить опыт посетителей с хорошо продуманным использованием темноты и упорядочиванием освещения на отобранных объектах пещеры. Есть два важных принципа, которые должны быть приняты во внимание, проектируя освещение для экскурсионной пещеры: доступ и атмосфера. Освещение для доступа должно быть на минимальном уровне, совместимом с безопасным движением всех посетителей пещеры. Эффективное освещение может использоваться, чтобы создать безопасный доступ через незнакомую окружающую среду, зону дружественных отношений, которые расслабляют посетителей. Использование световой полосы LED, 12 V локальные светильники и другие технологии низкой энергии может достигнуть этой цели. Они могут быть присоединены к перилам или краям тропы, с необходимыми инверторами или батареями, хорошо скрытыми ниже. Вообще, все крепления и провода должны быть хорошо скрытыми от посетителей, но все же остаться доступными для обслуживания без дальнейшего повреждения пещеры и её содержимого. У уменьшенного расхода энергии есть льготы вне сокращения эмиссии CO<sub>2</sub>, в том более низком потреблении энергии, облегчающем использование местного непрерывного электропитания, когда происходит отказ основной энергосети. Меньше тепла производится также. Есть теперь много таких доступных технологий, но они должны использоваться как инструменты для достижения цели, а не как сама цель.

Освещение для эстетики должно быть основано на основной философии, например, иллюстрировать аспекты пещеры, исследования, развития или истории. Где только возможно, освещение должно быть последовательным с посетителями, ведомыми от одной сцены до следующей, возможно, достигая высшей точки в освещении целого зала. Любой свет в

темной окружающей среде будет иметь драматический эффект, и очень отдаленный свет иногда может увеличивать иллюзию глубины и тайны. Освещение водных объектов может быть очень эффективным и эстетически приятным посетителям. Некоторые экскурсионные пещеры для целей освещения используют окрашенное освещение, чтобы увеличить определенные объекты, в то время как другие используют нейтральный и прохладный свет для выделения естественных цветов пещеры, ни один из которых не оказывают какого-либо большого влияния на окружающую среду пещеры. У некоторых экскурсионных пещер есть световые шоу, синхронизированные с музыкальными композициями, чтобы увеличить опыт посетителей, который не оказывает известного неблагоприятного влияния на окружающую среду пещеры.

### *Очистка пещеры*

Во многих экскурсионных пещерах тропы и иногда натеки чистятся на регулярной основе из-за накоплений пыли, корпии, намытых отложений, грибов и водорослей (лампенфлора). Многие подходы были опробованы с водными струями с высоким давлением, являющимися большинством используемой общепринятой методики, хотя в некоторых случаях вычищение, использование сурфактантов и паровой очистки также опробованы. Все эти методы, как можно ожидать, окажут некоторое влияние на убираемые поверхности натеков. Когда струи воды высокого давления используются, операторы должны попытаться ограничить число, и частоту мытья и использовать минимальное число насадок, действующих на поверхность кальцита.

Лампенфлора – позорный бич экскурсионных пещер – постоянная проблема. Использование сильных агентов очистки, таких как хлорный отбеливатель, обращается к желанию избавиться от организмов загрязнения, таких как водоросли. К сожалению, химическая обработка, включая хлорный отбеливатель, не работает хорошо в долгосрочной перспективе, потому что лампенфлора растет быстро при хороших условиях. Единственный способ минимизировать рост водорослей состоит в том, чтобы управлять развитием лампенфлоры, уменьшая свет и тепло, а не периодическую химическую обработку, которая только убивает рост в течение короткого периода.

Все же, когда лампенфлора распространяется, это необходимо, чтобы разрушить её химическими составами. Гербициды, однако, никогда не должны использоваться в пещере, поскольку они слишком ядовиты для окружающей среды пещеры. Используемых часто в сельском хозяйстве, гербицидов нужно избегать, потому что их деградация является медленной, и их токсичность может серьезно затронуть фауну пещеры. Использование сильных химикатов отбеливания для сокращения или удаления лампенфлоры было исследовано Signa (2011). Два наиболее широко используемых химиката – натрий гипохлорит (хлорный отбеливатель 5 % vol) и перекись водорода (в 15 % vol). Натрий гипохлорит выпускает хлор в окружающую среду пещеры и, хотя он эффективный агент очистки, является ядовитым для пещерной жизни, хотя он может быстро рассеяться. Перекись водорода может также иметь непреднамеренные биологические эффекты, где богатые железом отложения присутствуют. Новое исследование в США (Kieft и др. 2021), показывает, что отбеливатель и перекись водорода не должны использоваться из-за токсичности отбеливателя и что перекись водорода ухудшает натеки. Хлорид бензалконий – эффективный нетоксичный биоцид, который удаляет лампенфлору, когда используется в концентрациях 1-10%. Авторы также рекомендуют использовать бактерицидный легкий ультрафиолет (ультрафиолет-C). Независимо от того, какое вещество используется, полное мытье поверхностей после очистки рекомендуется, предпочтительно используя воду пещеры, а не хлорированную воду из общественной водопроводной сети. Ежегодная очистка – вероятно, самая соответствующая частота, но некоторые участки могут извлечь выгоду из более частой очистки, используя одну только воду пещеры.

### *Новые материалы*

Новые материалы постоянно развиваются, и некоторые, кажется, имеют хороший и даже большой потенциал для использования в пещерах. Однако, в то время как некоторые новые материалы, оказалось, были превосходны, другие, такие как сложная древесина, нет, давая начало неблагоприятным воздействиям на пещеру. Один аспект проблемы – то, что есть много типов сложных материалов, но тех, которые содержат деревянное волокно, нужно избегать, поскольку они могут поддерживать рост бактерий, водорослей и почвы. Листы спецификации всего сложного материала должны быть тщательно проверены, чтобы гарантировать, что материал не содержит древесных или бумажных продуктов. Если запланировано использовать сложный материал в пещере, он должен только использоваться после того, как тип сложного материала, который предлагается, был предметом обширного тестирования в окружающей среде пещеры, в которой предполагается его использование. Нержавеющая сталь, оказалось, была превосходным материалом для использования в пещерах. Однако нержавеющая сталь имеет множество различных сортов и качеств. Большая часть стоимости использования нержавеющей стали находится в обнаружении правильного типа для намеченного использования. Рекомендуется, чтобы более высокие сорта нержавеющей стали использовались, когда этот материал запланирован, чтобы использоваться в пещере. Появились новые пластмассы, у которых есть большой потенциал для использования в пещерах. Большое преимущество этих новых пластмасс состоит в том, что они легки, имеют механические особенности близкие к стали, и их легко обрабатывать простыми инструментами. Пластмассовые части соединяются болтами из нержавеющей стали, которые облегчают модернизацию проекта в будущем. Тропы могут быть построены из одноосно ориентированного волокнистого пластика, который является пластмассой, созданной при протяжке покрытых смолой стеклянных волокон через горячий зазор. Они часто покрываются песком, чтобы обеспечить

лучшее трение, но они могут изнашиваться очень быстро, если есть большие количества посетителей. Перила могут также быть созданы из пластмассы, укрепленной стекловолокном.

## *Материалы, которые обычно не подходят экскурсионной пещере*

В рассмотрении вопроса того, какие материалы не подходят экскурсионным пещерам, нужно признать, что многие из материалов, перечисленных в этом разделе, в некоторое время, в прошлом полагались быть соответствующими для использования. Как следствие, вероятно, трудно найти существующую экскурсионную пещеру, которая не содержит один или больше материалов, которые теперь считают нежелательными. Пещеры, которые находятся в процессе того, чтобы быть оборудованными как экскурсионная пещера, должны избегать использования всех материалов, известных теперь как нежелательные, как описано ниже.

### Гальванизировавшие металлы

В предыдущие десятилетия гальванизированные стальные трубы были материалом выбора для использования как перила экскурсионных пещер, лестницы и платформы. Однако цинк в гальванизированном материале легко окисляется и вымывается в окружающую среду пещеры. При выщелачивании гальванизированных покрытий могут возникнуть неблагоприятные воздействия, особенно на чувствительную фауну беспозвоночных пещеры и отложения кальцита. Где гальванизированная сталь всё ещё используется в существующей экскурсионной пещере, программа должна быть развита для её замены другим материалом.

### Разнородные металлы

Использование разнородных металлов, таких как различные алюминиевые сорта, будет всегда вызывать коррозию, когда они находятся в контакте друг с другом в сырой окружающей среде. Первое и лучшее решение состоит в том, чтобы не использовать несходные металлы в контакте друг с другом. Следующее лучшее решение состоит в том, чтобы изолировать материалы друг от друга, используя устройства, такие как неопреновые или нейлоновые шайбы, но это может только задержать неизбежность, если пленка воды преодолет барьер. Также рекомендуется, чтобы не использовались растворимые аноды, поскольку они произведут своего рода химический состав, у которого может быть отрицательное воздействие на пещеру.

### Цветные металлы

У многих цветных металлов также было прошлое использование в пещерах. Возможно, самыми обычными из них была медь, и её связанные сплавы, которые были источником многих зеленых окрасок в пещерах.

### Железо и сталь

Необработанное железо и сталь восприимчивы к ржавлению. Даже те формы мягкой стали, которые содержат маленький процент углерода, восприимчивы к окислению (ржавлению). Следовательно, необработанная сталь и железо не должны использоваться в экскурсионных пещерах, поскольку окраска ржавчины обязана закончиться.

### Битум (асфальт)

Битум (асфальт) является черной вязкой смесью углеводородов, полученных из нефти. У асфальта есть способность выщелачивать продукты, которые ядовиты для биоты, и могут столкнуться с отложением кальцита. Если асфальт найден в существующей экскурсионной пещере, планы должны быть развиты, чтобы удалить его как можно скорее. Асфальт никогда не должен использоваться в пещере, развиваемой как экскурсионная пещера.

### Дерево

В течение многих столетий дерево было привилегированным материалом для строительства и создания предметов, таких как мебель. Было поэтому естественно, что дерево использовалось в ранние дни развития экскурсионных пещер. К сожалению, у дерева есть относительно короткая жизнь прежде, чем оно начнет распадаться. Это включает дерево, пропитанное креазотом и обработанное давлением. Вообще, окружающая среда пещеры изолирована, и введение энергии с внешней стороны изменяет равновесие пещеры. Исключения к этому происходят там, где река или поток протекают через пещеру или где может быть высокое содержание органики по некоторым причинам.

Когда дерево ломается и распадается в окружающей среде пещеры, распадающееся дерево может стать частью пищевой цепи. Распад дерева может поддержать грибковый или бактериальный рост и даже представляет риск вторжений экзотических разновидностей, которые могут заменить родные разновидности пещеры. Если какая-нибудь форма дерева используется для опалубки, подмостей и подобных временных целей, это не должно использоваться в пещере, если это вообще выполнимо. Оно должно быть удалено по завершении работ, с взятой заботой, чтобы удалить любые отходы или обломки, полученные при работе или демонтаже структуры. Если распадающееся дерево должно быть удалено из пещеры, забота должна быть взята, чтобы гарантировать, что оно не распадается во время

транспортировки, и, таким образом, обеспечит неестественное питательное золотое дно. Даже маленькие следы гниющего дерева могут вызвать демографические взрывы среди пещерных проживающих видов, которые должны быть удалены от дерева прежде, чем дерево будет удалено из пещеры.

Где дерево найдено в существующей экскурсионной пещере, план должен быть развит, чтобы заменить его другими материалами, если экономика разрешает, и где введение дерева вызвало бы существенное изменение в естественной окружающей среде. Период времени, покрытый таким планом, должен быть ограничен ожидаемой продолжительностью жизни дерева на месте. Во время развития экскурсионной пещеры должны быть отобраны другие материалы, чем дерево. Только в пещерах со льдом - экологические особенности совместимы с деревом, которое часто используется для строительства дорожек и перил, поскольку оно не является скользким и может легко использоваться в замороженных условиях.

### *Мониторинг*

Основной мониторинг пещерного климата должен выполняться на регулярной основе и по принятому формальному мониторинговому расписанию. Температура воздуха, влажность, радон (если его концентрация близка или выше уровня, предписанного законом) и температура воды (если применимо) могут быть проверены. Контроль углекислого газа должен быть включен, если его концентрации существенно вне диапазона естественных изменений. Поток воздуха в и из пещеры может также проверяться. При отборе ученых для проведения исследований в пещере очень важно, чтобы для решения вопросов, связанных с пещерами, привлекались только ученые, имеющие хороший опыт работы с пещерной средой. Многие, в остальном компетентные ученые, возможно, не до конца осведомлены о пещерной среде. Если руководству пещеры будет дан неверный совет, то это может привести к угрозе окружающей среде пещеры. Наука о пещерах – это узко специализированная область.

### *Менеджеры экскурсионной пещеры*

Менеджеры экскурсионной пещеры должны быть компетентными и в управлении бизнесом экскурсионной пещеры, и в защите её окружающей среды. Менеджеры экскурсионной пещеры никогда не должны забывать, что пещера является «гусем, откладывающим золотые яйца» и что пещера должна охраняться с большой заботой.

### *Гиды экскурсионной пещеры*

У гидов в экскурсионной пещере есть очень важная роль, поскольку они – связь между пещерой и посетителями. Очень важно, чтобы гиды должным образом обучались. Управление экскурсионной пещерой должно подготовить руководство для гидов, определенно написанное о проведении экскурсий в их специфической пещере. Гиды должны обучаться в динамике группы, так же как признаках пещеры, включая геологию, биологию, палеонтологию, культурное и историческое значение, и эффективные способы предоставить эту интерпретацию посетителям в информативной и интересной манере. У гидов экскурсионной пещеры есть замечательная возможность вдохновить посетителей становиться защитниками для наших пещер и карстовых ландшафтов. Они также ответственны за безопасность посетителей и охрану пещеры.

### *Объяснение*

Цель объяснения состоит в том, чтобы предоставить информацию посетителям о пещере, и значении её культурного и естественного наследия, улучшать их оценки и понимание опыта пещеры. Другой аспект объяснения включает эффективные правила коммуникации и инструкции для охраны ресурсов пещеры и для безопасности посетителей пещеры и штата. Что можно «делать и не делать» должны быть развиты, показаны и устно сообщены посетителям в пути, которые помогают им понять и, мы надеемся, оценить свою важность, и заручиться поддержкой добровольного согласия. В тех пещерах, где посетители вступают в группы тура, сопровождаемые гидом пещеры, или индивидуально, будучи контролируемые гидами, размещенными всюду по пещере, гид пещеры должен соответственно обучаться гарантировать приверженность правилам и инструкциям для охраны пещеры и безопасности посетителей.

Опыт посетителей пещеры формируется многими факторами, которые работают до, в течение и после фактического посещения. Из этих факторов понимание, ожидание, принятие и воспоминание могут быть более важными, чем фактический опыт в пещере непосредственно, и, в конечном счете, воспоминание, вероятно, больше всего имеет значение для человека. Любой контроль опыта посетителя должен быть разработан, чтобы оценить эти факторы.

Некоторые основные принципы в планировании опыта посетителя:

- Информация делается доступной для общественности, или онлайн, или на сайте, должна быть точной и не передать вводящее в заблуждение впечатление. Делать эту информацию, доступную до посещения, что может уменьшить нежелательное поведение и увеличить ожидание.
- Гарантировать, что самая лучшая видимость дана при входе в область пещеры.

- В тех пещерах, у которых есть ведомые туры, каждый тур должен быть разработан для соответствующего числа посетителей, для соответствующего количества времени и быть возглавлен хорошо осведомленным гидом, который пытается развить отношения или связи с посетителями.
- Каждое усилие должно быть сделано для распознавания определенных культурных потребностей и интересов всех посетителей и предусмотреть их.



Одна из четырех интерактивных станций, предоставляющих мультимедийную информацию на немецком и английском, Пещера Венделштейн, Германия. Фото Питера Хофманна (Peter Hofmann).

Рекомендуется, чтобы каждая экскурсионная пещера развила специфическую тему или темы для использования и на турах, и на рекламном материале в Интернете, и которая могла бы легко сформировать основание для программы образования. Хотя развитие этих тем представляет некоторую сложность гидам и менеджерам, они могут привести к более значащим событиям пещеры для посетителей и более реализоваться рабочей силой. В прошлом большинство туров в пещерах велось гидом, но в течение XXI столетия появилось движение к самоуправляемым турам, которые позволяют посетителям двигаться через пещеру на их собственной скорости. Движение в направлении самоуправляемых туров в пещеры, в некоторых случаях, объясняется желанием уменьшить затраты, нанимая меньше гидов, но также возможно принять модель, где гиды расположены в специфических местах в пещере, чтобы гарантировать безопасность, предотвратить повреждения и обеспечить дополнительные объяснения, где потребуется. Последняя модель является особенно соответствующей там, где местные сельские сообщества вовлечены в пещерный туризм, и руководство обеспечивает существенную местную занятость. Некоторые экскурсионные пещеры будут использовать каждую из этих моделей или гибриды в сезон из-за колебания посещаемости.

Самоуправляемые туры требуют различного подхода к объяснениям, и следующие подходы в настоящее время используются:

*Подходы к объяснениям, используемые в самоуправляемых экскурсионных пещерах*

Интерпретирующий тип	Используемый в этих пещерах:	
Идентификационный комплект только	Много пещер, включая те 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 Деер (Deer), Саравак
		Пещера Ниах Большая (Niah Great), Саравак
	Словения	Шкоцианские (Škocjan) пещеры
США	Мамонтова пещера, Кентукки	
Телефонная трубка с сообщениями на нескольких языках	Лаос	Виенг Хай (Vieng Xai) пещеры
	Испания	Пещера де Неря (de Nerja)
	США	Карлсбадская (Carlsbad) пещера
Неподвижные станции со звуковыми сообщениями	Мексика	Пещера Баланканче (Balankanche)
	Англия	Пещера Дан Ур Огоф (Dan yr Ogof)
Информация, доступная для смартфона посетителя	Англия	Пещера Трек Клиф (Treak Cliff)

Какой бы тип не используется, хорошее объяснение важно, включая использование тематического объяснения и объединение с сильным сообщением по охране. Объяснения должны быть на местном языке, так же как любом международном языке, который преобладает.

## *Рекомендации*

- (20) Существующими экскурсионными пещерами нужно управлять по максимально возможным стандартам и необходимо работать в согласии с Рекомендациями ISCA, так же как рекомендациями, предоставленными здесь.*
- (21) Должно быть проведено полное исследование, чтобы определить экологическую и экономическую устойчивость прежде, чем оборудовать пещеру в экскурсионную пещеру.*
- (22) Безопасность должна быть приоритетом номер один для каждой экскурсионной пещеры.*
- (23) Определение пропускной способности посетителей определенной экскурсионной пещеры является балансом между обеспечением безопасного, информативного и приятного опыта тура пещеры для посетителей и уменьшением воздействия на окружающую среду пещеры, достигая экономических целей. Нужно рассмотреть все три фактора: впечатление посетителя, воздействие на окружающую среду и экономические цели.*
- (24) Необходимо иметь план участка, который изображает поверхностные детали, и подземные детали пещеры в порядке анализа потенциального влияния поверхностных работ, которые они могли иметь на пещеру.*
- (25) Соответствующая инфраструктура во входе экскурсионной пещеры является существенной для того, чтобы поддержать естественную окружающую среду пещеры.*
- (26) При всяком новом оборудовании, или в существующих экскурсионных пещерах или на новых участках, инфраструктура должна быть тщательно оценена, разработана и установлена, беря текущие лучшие методы в рассмотрение.*
- (27) Электрическая сеть освещения в пещере должна предпочтительно быть разделена на зоны, таким образом, позволяя освещать эффективно только те части пещеры в настоящее время занимаемые посетителями. Использование света должно быть минимизировано, чтобы только осветить определенные объекты и создать атмосферу, которая увеличивает впечатление посетителей.*
- (28) Эффективное управление экскурсионной пещерой должно быть подкреплено мониторингом, чтобы разрешить адаптивное управление участком. Как минимум, основной мониторинг пещеры, фауны, климата и концентраций углекислого газа должен быть выполнен согласно расписанию мониторинга.*
- (29) Менеджеры экскурсионной пещеры должны быть компетентными и в управлении бизнесом экскурсионной пещеры и в охране её окружающей среды.*
- (30) Гиды в любой экскурсионной пещере играют очень важную роль, как взаимосвязь между пещерой и посетителями. Существенно, чтобы гиды должным образом обучались в ценностях специфической пещеры и в их объяснениях для посетителей.*
- (31) Все экскурсионные пещеры должны развить высококачественную объяснительную информацию, чтобы помочь публике лучше понимать и ценить окружающую среду пещер.*





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

## **Приключенческая и туристическая активность на поверхностном карсте**

В течение XXI столетия было отмечено увеличение приключенческой и туристической активности на голом поверхностном карсте, включая области известняковых мостовых, башенного карста, обрывов и каньонов. Эти суровые и иногда отдаленные среды обитания могут иметь неузнанное биологическое разнообразие и ценности геонаследия, которые должны быть сохранены, особенно в охраняемых областях. Поэтому, важно провести исследование этих областей на предмет редких или местных видов растений (например, орхидей) или животных (например, лангуст), или для хрупких карстовых объектов (например, башни), как часть процесса принятия решений о том, позволить ли такие действия, при каких условиях (инструкции) и где (зонирование).

Любая инфраструктура, необходимая и разрешённая поддерживать такие действия, должна быть разработана и установлена так, чтобы она оказала небольшое влияние на карст, и визуально и в терминах его целостности, и могла быть без труда удалена в будущем, в случае необходимости, возвращая карст почти к его естественному состоянию.

*Карстовые трассы*, основанные на *виа феррата*, порожденные в XIX столетии в альпийских карстовых областях Европы. *Виа феррата* стали намного более популярными с конца XX столетия, особенно в Европе и распространяются по всему миру. [*Виа феррата* — скальный участок, оборудованный металлическими конструкциями, помогающими преодолевать его проще, чем при простом скалолазании.] Карстовые трассы с доступом, облегченным различными комбинациями инфраструктуры, были развиты на башенном карсте в нескольких местах. В Тсингу де Бемараха (Tsingy de Bemaraha) объекте всемирного наследия в Мадагаскаре трасса Большая Тсингу включает дорожки, площадки, лестницы, висячие мосты и местами кабельные линии безопасности. Карстовые трассы через башенный карст Фу Фа Марн (Phu Pha Mang) в центральном Лаосе включают троллеи (траверсы), *виа феррата*, висячие мосты, сетчатый мост и площадки с кабельными линиями безопасности всюду по сети. Эти трассы позволяют посетителям исследовать и испытывать захватывающие ландшафты башенного карста и видеть местную дикую природу (например, лемуров и лангустов), которые иначе фактически недоступны. Посетители в маленьких группах ведутся по трассам обучаемыми гидами. Чрезвычайно пересеченные и уязвимые ландшафты гарантируют, что посетители остаются на определенном маршруте, оставляя столь же маленькое воздействие на естественные экосистемы насколько возможно. Посетителям нельзя разрешать идти или подниматься по хрупким гребням или другим карстовым объектам, которые могут быть легко сломаны.

*У скалолазания* есть длинная история, но в течение XXI столетия было отмечено увеличение числа участников, особенно «болдеринг [скалолазание на камнях]», где никакие фиксирующие вспомогательные средства и веревки не используются. Среды обитания камней, исторически одни из наименее нарушенных человеческой деятельностью, стоят перед большим человеческим давлением, чем когда-либо прежде. Исследования показали, что у маршрутов подъема меньше покрытие растениями и более низкое биологическое разнообразие, чем у подобных камней, не используемых для того, чтобы подниматься по ним. Известняк вообще не образует трещины, как гранит или песчаник. Это может мешать устанавливать

«традиционные» удаляемые якоря (крючья и кулаки) для страховки на обрывах известняка. Вместо этого большинство использования областей скалолазания по известнякам используют предварительно установленные анкеры на болтах для страховки. Есть кодексы поведения для скалолазов, такие как Договор скалолаза (см. Интернет-Ресурсы), которые обращаются к защите биологического разнообразия, георазнообразия и культурных ценностей (например, местное наскальное искусство) в областях скалолазания.



*Троллей (траверс) в охраняемой области башенного карста в Фой Фа Марн (Phou Pha Marn), Лаос. Фото Green Discovery Laos.*

**Каньонинг** – наружная рекреационная деятельность, которая состоит из траверса вдоль каньона или ущелья, обычно с текущим потоком, используя множество методов, таких как спуск по верёвке, протискивание, скалолазание, прыжки и плавание. Хотя каньонинг был сделан популярным американцами и европейцами в 1970-ых гг., его происхождение может быть прослежено назад к концу XIX столетия во Франции. Эдуард Альфред Мартель, известный как «отец современной спелеологии» и пионер прохождения и исследования пещер, сначала ввёл методы каньонинга для проведения научных исследований в труднодоступных областях ущелий. Чтобы минимизировать воздействие на окружающую среду каньонинга, рекомендуется придерживаться речных русел и избегать чувствительных речных наносов и растительности. Где только возможно, используйте естественные крепления и удаляемое оснащение в манере, которая избегает повреждения и защищает естественные карстовые поверхности. Кодекс поведения при каньонинге от Международной Организации каньонинга для Профессионалов (см. Интернет-Ресурсы) включает обсуждение экологического понимания и охраны.

### **Рекомендации**

- (32) *Пересеченные и отдаленные поверхностные карстовые среды обитания могут иметь неузнанное биологическое разнообразие и ценности георазнообразия, которые должны быть рассмотрены и оценены, как часть процесса принятия решений о том, позволить ли приключенческую и туристическую активность на них, при каких условиях и где.*
- (33) *Инфраструктура, необходимая для поддержания поверхностной карстовой активности, должна быть разработана и установлена таким образом, что она оказывает небольшое влияние на карст, и визуальное и в терминах его целостности и, в случае необходимости, может быть с готовностью удалена в будущем, возвращая карст к почти его естественному состоянию.*

### **Научные исследования**

Пещеры – одно из лучших мест для изучения прошлой истории нашей планеты и человечества, так же как биологических эволюционных процессов. Пещеры – эффективно хорошо изолированные капсулы времени, предрасположенные разными способами для сохранения органического материала, такого как кость, раковины, пыльца, древесный уголь и растительный и неорганический материал, включая и обломочные отложения и натёки. Пещеры и входы в пещеры служат временным убежищем или постоянными убежищами для многих разновидностей растений, животных и микроорганизмов, неспособных выжить на поверхности, особенно в тех областях, где сухость, низкая влажность и температурные экстремумы являются лимитирующими для организмов.



*Биоспелеолог берет пробу беспозвоночных в пещере Фрауенхалден (Frauenhaldenhöhle). Фото Рейнера Страуба (Rainer Straub).*

Органические и неорганические материалы транспортируются в пещеры через множество естественных геоморфологических процессов, обычно вовлекая воду и, в некоторых случаях, ветер. Как только подземные материалы накапливаются и когда галереи становятся реликтовыми, накопленные отложения ограждаются от процессов выветривания, которые воздействуют на поверхность. Большинство активных карстовых гидрологических систем характеризуется быстрым временем сквозного потока, хотя в некоторых областях грунтовые воды следуют глубокими путями течения и может потребоваться сотни или тысячи лет, чтобы она возвратилась на поверхность. Если нет никакого смешивания с поверхностными водами, они появляются без любых антропогенных загрязнителей, таких как хлорфторуглероды, или произведенной человеком в 1950-ых гг. атомной радиации. Для исследования состояния среды обитания в доисторические времена или археологии, пещеры теперь снабжают «супермаркет» мультидисциплинарной информации, которая включает изотопы, сохраненные в натёках, скелетный материал и экологическую ДНК (e-ДНК), сохраненную в отложениях. Для исследования, сосредотачивающегося на индикаторах изменения климата, хорошо сохранившийся участок пещеры предлагает много подсказок и материалов исследования. Они включают слои вулканического пепла, отложения тихой заводи от наводнений и богатства изотопов и органических остатков, представленных в капающей воде и натёках.

Для биологических исследований пещеры были уподоблены «подземным лабораториям» из-за их сильно изолированной и буферизованной окружающей среды, где многие из переменных и возмущений, которые затрагивают поверхностную окружающую среду, отсутствуют или сильно приглушены. Они включают постоянную темноту, почти постоянную температуру и высокую влажность, низкую поставку еды и отсутствующие или сильно приглушенные дневные/сезонные сигналы. Эти относительно устойчивые и предсказуемые условия делают пещеры и фауну пещер подходящими для исследования относительно фундаментальных биологических вопросов, таких как те, которые касаются адаптации, потока энергии и эволюционных процессов. Активные пещеры обычно получают регулярные поступления с поверхности, но реликтовые пещеры могут стать изолированными «подземными островами», в которых может развиваться специализированный, локально эндемичный, «троглобионтный» вид. Поскольку эти виды редки и обычно имеют диапазоны ограниченного распространения, важно оценить потенциальные воздействия, которые исследовательские действия могут на них иметь.

Птицы, живущие в пещерах и поселения летучих мышей особенно уязвимы для беспокойства от людей, входящих в пещеры, независимо от научных исследований. Сбор летучих мышей и птиц, или сбор гнезд в местах гнездования и высихивания в пещере, или для исследования или для традиционной еды/медицины, могут иметь очень существенные воздействия на местные поселения птиц и летучих мышей. Большинство популяций пещерных беспозвоночных, кажется, являются менее реагирующими или явно возбужденными человеческим присутствием. Растапывание – очевидная прямая угроза индивидуальным пещерным беспозвоночным, и интенсивное движение людей может оказать существенное влияние на уязвимые виды, живущие на полу, которые имеют тенденцию быть невидимыми. Растапывание мягких отложений, таким образом, общая проблема для всех исследователей пещер, не только ученых. Ходьба по незакрепленным камням может сокрушить разновидности, живущие под ними. Однако, большинство

поселений беспозвоночных, вероятно, будет находиться в мезо-полостях, и они только выходят в пещерные галереи, когда условия становятся подходящими.

Чрезмерный сбор учеными был также воспринят как угроза пещерной фауне. Это имело место в некоторых европейских странах, где европейский протей (*Proteus*) украшал музейные выставки. Пещерные жуки все еще популярны, как коллекционные экземпляры, также как бабочки, любительскими и профессиональными энтомологами. Научный чрезмерный сбор, только, вероятно, тогда становится угрозой, когда научно-исследовательская работа требует больших количеств экземпляров, таких как генетические исследования популяции, и только когда собираемая популяция является маленькой и изолированной. Большинство современных биологов знает о потенциальном воздействии чрезмерного сбора, и огромное большинство биологических исследований предпринято с минимальным нарушением популяций и жизнеспособности видов. Это включает удаление ловушек, которые больше не используются. Однако, случайная коллекция индивидуальных экземпляров для научной идентификации и таксономии не должна быть воспринята как угроза; скорее это существенно для точной идентификации и сохранения разнообразия. Плохо разработанные (или проводимые) научные эксперименты могут привести к воздействию на окружающую среду. В течение 1970-ых гг., например, была попытка копировать известную Подземную Лабораторию Moulis (Франция) в бразильской пещере в охраняемой области. Попытка потерпела неудачу, приведя к смерти многих приспособленных к пещере рыб, с проблемой, тогда усиленной неспособностью удалить испортившиеся лабораторные структуры.

Важно иметь в виду, что самые большие угрозы пещерной фауне и пещерным экосистемам не происходят из-за научных исследований, скорее, что они происходят из-за действий вне пещеры, включая извлечение полезных ископаемых, сведение леса, сельское хозяйство, извлечение грунтовых вод, загрязнение воды и отложение осадков. Спелеологи вообще могут неосторожно воздействовать на пещеры, внося микробы в подземные экосистемы (см. Рекреационная и приключенческая спелеология).

Обозначение охраняемых областей обычно подкрепляется обширным научным исследованием, которое иногда отражается на названии участка. Иногда охраняемые области созданы, потому что научное исследование продемонстрировало существование ценных экологических активов, которые заслуживают охраны. Такое имеет место в областях с редким или находящимся под угрозой, или ключевым геонаследием. Однако, есть много карстовых охраняемых областей, особенно назначенные, прежде всего, по ландшафтными причинам, где там есть ограниченное понимание того, как ландшафты развились или процессов и взаимосвязей, которые действуют, чтобы держать системы работающими. Многие охраняемые карстовые области стали центрами высококачественных исследований, потому что они представляют существенные естественные ценности, и также потому, что во многих частях мира, охраняемые области приветствуют научную деятельность.

Исследование в охраняемых областях значительно способствовало пониманию карстовых систем. Национальный парк Мамонтовой пещеры в Кентукки и национальный парк Карлсбадских пещер в Нью-Мексико, оба объекта всемирного наследия в США, были ключевыми областями для развития карстовой гидрогеологии и спелеогенезиса (Мамонтова пещера) и гипогенного спелеогенезиса и пещерной геомикробиологии (Карлсбадская пещера). Есть инфраструктура исследования в обоих национальных парках, включая жилье, так же как благосклонный штат, которые иногда не случаются, когда исследование происходит на частных землях. Дальнейшее преимущество исследования в охраняемых областях состоит в том, что там может быть большая защита для ценного полевого оборудования. Контроль инструментов, таких как флуорометры и логгеры, контролирующие экологические параметры, обычно должны использоваться в течение продолжительных периодов, чтобы собрать значащие данные, с повсеместным риском повреждения или воровства. Штат охраняемой области может также помочь в сборе данных, проверке целостности оборудования и обеспечении научной способности проникновения в суть, иначе недоступной ученому в отдаленном местоположении. В нескольких охраняемых областях имеются местные ученые в их постоянном штате, иногда называемые «специалистами по пещерам». Это позволило высококачественному исследованию быть выполненным на рутинной основе. В национальном парке Мамонтовой пещеры исследование резидентским научным штатом привело к самой детальной картографии в мире бассейнов грунтовых вод в карсте. Дальнейшее преимущество наличия резидентских ученых является возможность предоставить студентам и широкой публике всестороннюю информацию относительно карста и пещер. В США сотрудничество между национальным парком Мамонтовой пещеры и соседним Западным Университетом Кентукки позволили выполнить программы «Карстовых Учебно-производственных практик», ряд недельных ориентированных на карст и пещеры полевых семинаров, как во главе с резидентскими, так и во главе с нелокальными учеными, которые начались с 1979 г.

То, что можно назвать «внутри сосредоточенным исследованием», стремится увеличивать понимание охраняемых областей и может, поэтому, питаться непосредственно в управлении. Хорошо структурированная программа мониторинга (см. Развивающийся эффективный мониторинг и ослабление), вероятно, представит форму исследования, в котором оно приведёт к научным данным, которые должны быть предметом строгого анализа. Однако внутри сосредоточенное исследование отличается от рутинного мониторинга, обращаясь к определенным вопросам (например, программа трассирования воды, используя краски, чтобы установить водосборный район источника или источников) или проблемы (например, расследуя снижение в специфических видах растений или животных, которое было идентифицировано мониторингом). Напротив, «сосредоточенное за пределы исследование» использует данные или

материал, собранный в пределах охраняемой области, чтобы обратиться к более широким проблемам (например, реконструкция окружающей среды прошлого, используя данные, сохраненные в натёках, или использование пещеры как подземной лаборатории). Хороший пример последнего представляет Виварий, расположенный на 50 м внутри пещеры Постойна, Словения, часть которого является лабораторией, используемой для научной работы и исследований. Наземные пещеры также используются как тестовая площадка для роботов, которые могут использоваться для исследования пещер на других планетах. В небольшом количестве ситуаций, финансирование для исследований предпочтительно направлено на охраняемые области. В Бразилии, где пещеры защищены на федеральном уровне, экологические компенсационные деньги, связанные с воздействиями в пещерах, должны быть предпочтительно направлены на исследования в пещерах. Некоторые экскурсионные пещеры, такие как популярная пещера Неря (Nerja), около Малаги, Испания, также финансировали карстовые исследования, включая научные конференции.

Во всех охраняемых областях исследование в пещерах и на карсте идеально должно только происходить после письменного заявления и предоставления пропуска исследования. Пропуска нужно просить заранее, и желательно, чтобы команды исследования работали в соединении с местными сообществами, включая соответствующую оплату за услуги. У некоторых стран есть определенные правила для исследователей из других стран, которые желают предпринять исследование пещер и карста. Цель состоит в том, чтобы гарантировать, что исследователи не применяют «колониаторский» подход и что страна-организатор участвует в полученном знании. МСС (UIS) принял моральный кодекс для международных спелеологических экспедиций, некоторые из которых включают определенный компонент исследования (см. Интернет-Ресурсы). Особенно важно, что те, которые предпринимает исследование в странах без истории исследования пещер, помогали местным народам понять цель их работы, чтобы избежать возможных недоразумений. Один неудачный случай был с экспедицией в Эфиопию, где местным жителям сказали, что натёки были «ценны для научного исследования», что привело к тому, что некоторые люди входили в пещеры и удаляли натёки в надежде продать их.

Везде где возможно, штат охраняемой области должен быть ознакомлен с научно-исследовательской работой и, если возможно, они должны быть вовлечены в сбор данных. Это позволит им обратиться к исследованию, когда проходит подготовка туров с группами посетителей, и лучше помогать последующему коллективу исследователей с определенными для поля деталями относительно предшествующих исследований. Исследователи должны быть поощрены сделать их работу доступной в форме, которая может быть понята посетителями. Это могло быть через представление постерной презентации в центре посетителей, статье в Интернете или через социальные СМИ. В некоторых случаях имеется возможность широко распространить данные. Британский Центр Пещерной Науки (BCSC) в пещере Пула (Poole's), участке Специального Научного Интереса в Бакстоне, Англия, установил контрольную систему климата пещеры в реальном времени. Данные загружены на вебсайт BCSC и могут быть скачаны и использованы любым человеком бесплатно (см. Интернет-Ресурсы).

Рекомендуется, чтобы заявления - анкеты для пропусков для исследования включали:

- Описание проекта и, для внешне ориентированные исследования, причины, почему это должно быть предпринято в охраняемой области, а не на другом участке.
- Местоположение(я), где оборудование должно быть установлено или образцы должны быть собраны (и объём и частота отбора коллекций) с оправданием за специфическое выбранное местоположение(я).
- Оценка потенциальных воздействий и шагов, которые будут сделаны, чтобы минимизировать эти воздействия. Хороший пример – исследование, которое требует использования натёков, такое как в исследованиях палеоклимата/состояния среды обитания в доисторические времена. В 1980-ых гг., когда относительно большое количество материала было необходимо, было обычным удаление целого натёка из пещеры. Для большинства исследований это больше не необходимо, поскольку требуется только маленькое количество материала, и они могут быть получены осторожным извлечением тонкого керна. После того, как керн был извлечён, маленькая пробка может быть вставлена, позволяя заживить натёк, если есть продолжающееся отложение кальцита. Если доступно, предпочтение должно быть дано уже сломанным образцам натёков, что является обычной ситуацией в пещерах, которые посещаются. Если нет сломанных натёков, консервативный подход должен быть предпринят, выбирая материал, вне поля зрения и ограниченной эстетической ценности.
- Детали относительно любого запланированного биологического или микробиологического опробования. Это особенно важно, где исследователи базируются в странах кроме тех, в которых должно быть предпринято опробование, поскольку некоторые страны не позволяют этим материалам экспортироваться без дополнительных документов из-за частых случаев биологического пиратства. Наоборот, у стран, таких как Австралия и США есть очень строгие законы относительно импорта биологического материала или почвы.
- Использование беспилотных аппаратов и роботов для пещерной фотографии и картографии обучаемыми пещерными операторами является недавним развитием, которое может обеспечить высококачественные данные для научного анализа и объяснений, но любое использование этих устройств должно быть одобрено как часть пропуска для исследования.

Те, которые оценивают заявления на пропуск, должны знать, что устаревшие методы или протоколы могут привести к длительному повреждению пещерных и карстовых ресурсов. Это может произойти во время археологической и палеонтологической работы, когда раскопки и удаление артефактов или биологических остатков были выполнены без контекстного (таксономического) исследования на месте, значительно ограничивая возможности получения критической хронологической и осадочной информации. Если возможно, представительная часть отложений должна быть сохранена неповрежденной, чтобы допустить будущую работу с более передовыми методами. Устойчивые условия окружающей среды, которые имеют тенденцию облегчать сохранение палеонтологического ансамблей и их контекстов, являются самыми уязвимыми для разрушения. Раскопки в таких галереях могут повлечь за собой существенные изменения в энергетическом режиме, с соответствующими воздействиями на подземную окружающую среду. Все археологи знают о материалах, которые могли бы посягнуть на их дорогие методы датирования, но распадающееся пластмассовое защитное покрытие и изнашивающуюся защитную сетку можно все ещё найти во многих участках пещер после «восстановления» выкопанных областей. На контрасте с поверхностными местами разрушения, следы или эффекты человеческих действий в окружающей среде средней и низкой энергии под землей могут сохраниться до сотен или даже тысячи лет. Исследователи должны быть поощрены использовать в своих интересах технологический прогресс, особенно отдаленный мониторинг поверхностных возможных мест, таким образом, сокращая количество посещений. Фотогальванические панели и маленькие ветровые турбины позволяют непрерывный контроль без потребности в посещениях заменять батареи, и данные могут быть загружены удаленно, используя мобильный телефон или спутниковые сети.



*Бурение в натекке для палеогеографических исследований, выполненное по разрешению на месте специального научного интереса в Великобритании. Фото Джона Гунна (John Gunn).*

### **Рекомендации**

- (34) Все охраняемые области с пещерами и карстом должны развить политику для управления исследованием, которому нужно разрешить только после получения и одобрения заявления.
- (35) Те, которые желают предпринять исследование в пещерах, должны быть в состоянии или продемонстрировать, что они знакомы с окружающей средой пещеры и местным Спелеологическим Кодексом Минимального Воздействия, или что они работают с опытными пещерными учёными, которые гарантируют приверженность кодексу.
- (36) Для тех пещер, которые имеют план управления, должна быть секция по исследовательской активности.
- (37) Для всех исследователей, работающие в пещерах или на карте внутри или снаружи охраняемых областей рекомендуется тщательно оценить свои предложения, включая сравнение потенциальных выгод с риском повреждения окружающей среды или культурных ценностей.

(38) Должен быть акцент на минимальных методах опробования для фауны, натёков и отложений, и исследователи должны передать публикацию результатов в форме, легко понятой общественностью, так же как в академических СМИ. Исследователи должны совершить удаление оборудования и восстановление участка (в случае необходимости) по завершении проекта.

## Сельское хозяйство и лесоводство

Развитие человеческих видов было неразрывно связано с удалением естественной растительности, главным образом леса, и её замена пахотной землей. Таким образом, человечески-принудительная последовательность растительности разрушила естественно развитые экосистемы с определенным флористическим составом и долгосрочно приспособленной биотой. Глобально, только карстовые области, которые не испытали некоторого воздействия от лесоводства и сельского хозяйства, расположены в отдаленных местоположениях или получили сильную охрану, которая устранила лесное разращение или сельское хозяйство. Много человеческих воздействий на карст являются прямыми и локализованными, таковые как в извлекающей промышленности, с воздействием, изменяющимся от мелкого масштаба до глубокого. Горное опустынивание, широко распространенное в частях Средиземноморского бассейна и в южном Китае, например, является последствием эрозии почвы, вызванной удалением родной растительности и последующими сельскохозяйственными методами. Это было описано как самое глубокое человеческое воздействие на карст. Даже в умеренных областях, где карст – в значительной степени покрыт почвой, наибольшее антропогенное воздействие (в терминах ареального охвата) обычно происходит от сельского хозяйства.



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

Средиземноморская область, колыбель европейской цивилизации, является «местоположением типа» для человеческих воздействий на теплый умеренный карст. Его первобытные сосновые и кедровые леса постепенно заменялись вторичными кустарниковыми ассоциациями, известными как *гаррига* или *фригана*. Сообщества растений подобного облика развивались к северу, в Балканах и Восточной Европе в средних широтах, под более умеренным, хотя умеренно континентальным климатом (сербский *шибляк* и тернистая мантия кустарникового сообщества Кратего-Прунетя (*Crataego-Prunetea*)). Они нагревают сухую форму местности с кустарниками, доминирующей ассоциацией растений на многих горных местностях известнякового карста. За пределами Европы были подобные, но более свежие тенденции. На Мадагаскаре сведение естественного леса для преобразования в пахотную землю было главной угрозой местной эндемичной фауне пещер с потоками из-за быстрых изменений в трофических основаниях пищевых сетей, вызывая серьезные потери биологического разнообразия. В некоторых юго-восточных азиатских карстовых областях очищение от естественного леса и его замена плантациями пальмового масла была специфическим беспокойством. Те карстовые области, которые остаются, по-существу, в естественном состоянии, поддерживают богатое биологическое разнообразие по сравнению со смежными литологиями. Это биологическое разнообразие было частично поддержано традиционными методами местных сообществ, но могло быть быстро разрушено коммерческой деятельностью. В отличие от их прямых воздействий на карстовое биологическое разнообразие, воздействия сельского хозяйства и лесоводства на карстовое георазнообразие являются в значительной степени косвенными и имеет отношение, прежде всего, к изменениям качества и количества воды.

## Сельскохозяйственные методы на карстовых ландшафтах

Осуществление сельского хозяйства на карстовых областях часто было стимулирующим для сельских сообществ, и их попытки решить проблемы, такие как нехватка воды обычно воздействовали на карстовые системы. В некоторых частях Европы, отличительный тип ландшафта, иногда называемого «агри-карст» развился в ответ на местный климат и сельскохозяйственные подходы. На сельскохозяйственные методы на карсте, как на сам карст, в значительной степени влияет или управляется климатом, и три широких зоны могут быть признаны:

- Влажно-тропические области с интенсивным сельским хозяйством (рис, сахарная свекла), у которых обычно есть яркие карстовые ландшафты (например, Юго-Восточная Азия).
- Умеренные карстовые области со смешанным сельским хозяйством, базируемым, главным образом на зерне (особенно пшеница и маис), овощах и в теплой умеренной зоне, виноградниках или оливковых деревьях. У домашнего скота пастушество/скотоводство могут также быть важные воздействия на качество и количество воды в карсте.
- Холодная окружающая среда, в высоких широтах или высотах, где сельское хозяйство домашнего скота и/или устроенный в виде террасы, часто доминируют основанные на пропитании зерновые культуры.

В башенном и коническом карсте Юго-Восточной Азии много традиционных методов касаются сельского хозяйства, например в Фэнглин-Фэнконг (Fenglin-Fengcong) Юньнани, Гуйчжоу и областей Гуанси юго-западного Китая, конического карста Бохоля (Bohol), Филиппины или башенного карста Гунунг Севу (Gunung Sewu), Индонезия. За долгое время сообщества сформировали террасированные холмы и горы, чтобы уменьшить наклон и сохранить воду ливней в течение влажного сезона. Сельское хозяйство влажного риса Бохоля, Филиппины, стоит как пример гармоничной интеграции между карстовым ландшафтом и сельскохозяйственной практикой, по-видимому, преуспевая в том, чтобы достигнуть устойчивости в столетних шкалах. Сезонно-основанный календарь, который использовался в течение многих столетий местными сообществами, нацеленными на приспособление местных сельскохозяйственных потребностей к влиянию климата, кажется, лучше всего соответствует естественной регулирующей системе подстилающего карста. К сожалению, упадок ирригационных систем вызвал социо-экологические изменения (замена зерновых культур влажного риса менее экономически ценной основанной на зерне кукурузе сельскохозяйственной системой) с серьезными эффектами на «влажные» низменности карстовых областей. Напротив, историческое завоевание карста в юго-западном Китае (один из наибольших непрерывных карстов в мире) привело к серьезной потере покрытия растительности и эрозии почвы из-за сельскохозяйственного использования, связанного со сведением леса, и увеличило потребление воды.



*Интенсивное сельское хозяйство на дне большой депрессии в карсте Ван Фэнглин (Wan Fenglin), Гуйчжоу, Китай. Было существенное сведение леса на башнях на заднем плане, хотя некоторые области леса остаются. Фото Джона Гунна (John Gunn).*

В умеренных зонах слабо наклонные плато, изрытые карстовыми воронками, формируют общую карстовую топографию, которая в её наиболее развитой стадии приводит к полигональному карсту. Там где этот ландшафт был первоначально покрыт плотной старой лесной растительностью, карстовые воронки могут действовать как убежища для сосудистых



растений, что важно для целей сохранения в текущем контексте глобального потепления. В этих областях удаление леса обычно приводит к переносу отложений к более низким частям карстовых воронок, с последовательными изменениями в гидрологическом режиме, как наблюдается в карсте Страны Королей (King Country karst), Новая Зеландия. Карстовые воронки обычно преднамеренно заполняются в попытке увеличить выровненную область. Карры могут быть разрушены по подобным причинам, и они могут также быть добыты в карьерах для местного строительства стен или, в некоторых областях, для декоративного камня. У каждого из этих действий есть потенциал, чтобы вызвать серьезные изменения в функциональных возможностях подземных геосистем.

Сельское хозяйство связано с историческим сведением леса, эрозией почвы, и последующими более высокими уровнями изменений отложений, так же как изменения в образцах использования ресурса пищи и в поверхностных, и в подповерхностных потоках. Они действуют как основные стрессоры на сообщества беспозвоночных пещерных потоков. Отложения, поступающие в пещеру, например, будут отложены в областях с более низкой скоростью, таким образом, изменяя среду обитания. Введения отложений могут также разрушить гидравлику каналов, особенно там, где отложения накапливаются в фреатических петлях. Органическое загрязнение изменяет структуру сообщества пещерной биоты, и вообще приводит к её уменьшенному распределению и богатству. Растворенное органическое вещество и биопленки на гальке – важные источники энергии для сообществ потока. Другие антропогенные факторы стресса оказывают воздействие на метаболизм подземных организмов и включают металлы и металлоиды, пестициды, удобрения, возникающие загрязняющие вещества и летучие органические соединения. Общие источники загрязнения включают удобрения и компост, применяемые для полевых зерновых культур, места хранения навоза, откормочные площадки, доильные помещения, птичники, свинофермы и скотные дворы. Коксон (Coxon, 1999) предложил примеры сельскохозяйственных воздействий и объяснил решающую роль карстовых водоносных горизонтов в передаче агрохимикатов и патогенных организмов к источникам. Эти действия не только чувствуют подземные организмы, но могут непосредственно воздействовать на человеческое здоровье. В области Ваитомо (Waitomo) в Новой Зеландии, например, отходы свиноводства разгружались в карстовую воронку и загрязнили источник, который поставлял воду на ферму. В Ирландии карстовый источник, который поставлял воду городу Кастлейслэнд (Castleisland), должен был быть списан из-за загрязнения глинистой суспензией и другими произведенными фермой загрязнителями. Одно из самых серьезных и хорошо зарегистрированных воздействий сельскохозяйственного загрязнения на карсте произошло в мае 2000 г., когда муниципальные колодцы в Волкертоне (Walkerton), Канада, оказались загрязненными патогенными бактериями, что привело к семи смертям и заболеванию более чем 2300 человек.



*Известняковая мостовая Шешымор (Sheshymore) в Буррен (Burren) и обрывах Мохер (Moher) в Глобальном геопарке ЮНЕСКО, Ирландия. Анализ пыльцы предполагает, что эта область имела толстую минеральную почву и была засажена деревьями в доисторические времена. Сведение леса сопровождалось катастрофической эрозией почвы, процесс теперь обычно называемый скалистым опустыниванием. Фото Джона Гунна (John Gunn).*

Большая часть загрязнений возникает в точках поглощения и поэтому могут быть минимизирована, если: 1) не разрешены прямые сельскохозяйственные стоки в области концентрированных поглощений, таких как по норы,

карстовые воронки или другие естественные полости, и 2) установлены буферные зоны вокруг этих областей. В буферных зонах не должны быть разрешены пахотные работы или выпас домашнего скота, и должно быть сохранено полное покрытие растительностью, чтобы отфильтровывать любые взвеси из стока со вспаханной земли. Особенная забота необходима в тех областях, где карст покрыт очень тонким слоем почвы, как это имело место в Валкертоне (Walkerton).

Изменение использования пахотной земли может уменьшить концентрации углекислого газа в почве, которые в свою очередь будут воздействовать на скорость растворения в эпикарсте и потенциально на отложение карбоната на натёках. В почве концентрации  $\text{CO}_2$  обычно заметно выше под местным лесом, например, чем под полем, и пастбище обычно имеет более высокие концентрации, чем земля под зерновыми культурами. Одно последствие последнего – то, что исследования показали, что, концентрации  $\text{CO}_2$  в почве могут быть быстро подняты преобразованием пахотной земли в луг, что могло бы быть хорошей практикой на ухудшенных карстовых ландшафтах. Уменьшение покрытия почвой через эрозию приведёт к более интенсивной инфильтрации, особенно после сильных ливней, и там где это происходит над пещерами, ненасыщенные быстро проникающие воды будет иметь возможность повторно растворять натёки.



*Сезонно культивируемые земли на полье Серкнишко (Cerkniško), Словения. Фото Давида Гиллисона (David Gillieson).*

## **Лесоводство на карсте**

Леса – известная, долгосрочная развитая форма естественной растительности, существенная для регулирования и функционирования карстовых систем. В карстовых областях леса – важный компонент биогеохимического цикла. Для жизнеспособного управления карстовыми территориями, засаженными деревьями, некоторые принципы относительно природы лесов и изменчивости углекислого газа почвы ( $\text{CO}_2$ ) требуют рассмотрения. После океанов почва – второй по величине углеродный слив на Земле. Лесная растительность и почва ниже – и углеродные запасы и углеродные сливы, означая, что они могут захватить  $\text{CO}_2$  из воздуха и сохранять его, так же как постепенно выпускать это. Часть этого  $\text{CO}_2$  растворяется в воде, которая просачивается вниз в известняк, вызывая его растворение и, в конечном счете, формировать подповерхностные полости и пещеры. Таким образом, углеродные бюджеты карстовой системы крайне важны для её функции, и определенный баланс достигнут в пределах каждой карстовой области или бассейна между растительностью, почвой, породой и грунтовыми водами. Изменение использования земли или растительности изменит этот баланс, с изменением климата будет другой фактор, затрагивая пригодность воды и деятельность растительности. Дополнительный углерод поглощается в почву под лесной растительностью, способствуя дальнейшему растворению известняка с некоторыми из растворённых ионов карбоната, в конечном счете, откладываемых как рост натёков. Эти химические отложения, обычно сформированные в пещерах осаждением кальцита, требуют, чтобы было более длительное время пребывания при инфильтрации воды, и была низкая интенсивность капели. Эти условия обычно встречаются в умеренно трещиноватых коренных породах с маленькими отверстиями, которые однородно проводят и распределяют просачивающуюся воду в большие полости. Корни деревьев дышат больше  $\text{CO}_2$  в почву, таким образом, усиливая выветривание породы, также отпечатывая определенную структуру в эпикарсте (верхний гидрологический уровень карстовой системы), растрескивая коренную породу во время своего роста. Деятельность микробиоты почвы очень важна для регулирования углеродного цикла, поскольку она выпускает сохраненный  $\text{CO}_2$  из почвы назад в

атмосферу. Углерод, извлечённый при выветривании известняка, в конечном счете, приходит в океан через грунтовые воды и реки, хотя неизвестная часть теряется в атмосфере через почву или при прямой дегазации выходящей грунтовой воды. В целом, выветривание известняка вообще считают углеродным сливом через «двойное карбонатное выветривание», однако, не бесспорно, что это всегда верно, и эффективность процесса, вероятно, изменяется в каждой области или бассейне.

Лесоводство – существенный тип использования земли с его собственным набором проблем. Леса старого роста обычно классифицируются как сообщества кульминационного момента, очень устойчивые из-за их долгосрочного, безмятежного развития. Некоторые из этих лесов занимают отдаленные карстовые территории в горах или тропических областях, но могут быть подвергнуты опасности непрерывным расширением человеческой среды обитания, туризма или извлечения древесины. Эти леса требуют строгой охраны и не должны быть подвергнуты никакой форме человеческой эксплуатации. Методы лесоводства включают дорожное строительство (сопровожаемое подрезанием склонов), заготовку леса, рост рассады и пересадку деревьев, так же как различные действия после заготовки леса. Вырубка леса оставляет землю временно или надолго лишенной защиты, предоставленной устойчивым покрытием растительности, что означает внезапное изменение в балансе всей естественной системы. Быстрые изменения происходят вскоре после того, как лес расчищен, приводя к увеличенному проникновению ливня, увеличенному производству азота из-за разложения древесных остатков и начала эрозии почвы. Эрозия почвы вызывает дальнейшие изменения в структуре эпикарста и уменьшение в сливе CO<sub>2</sub> с отрицательными последствиями для баланса карстовой системы.

Заготовка леса не единственная угроза целостности карстовой окружающей среде. Введение иностранных, более экономически производительных разновидностей деревьев в известные лесные среды обитания, развитые на карсте, и часто изменения фундаментального лесного типа (например, хвойный вместо лиственного леса, и плантаций масличной пальмы вместо тропического леса), может привести к главному гидрологическому и химическому нарушению равновесия карстовых вод, увеличенной кислотности почвы, ускорению коррозии коренных пород и деградации натёков. Вызванные человеком пожары в лесах или на пастбищах, смежных с лесами, если не ограничены интенсивностью, продолжительностью и степенью тех естественно происходящих пожаров на карстовых территориях, имеют долгосрочные негативные воздействия, главным образом, состоящие из прокаливания и растрескивания поверхностей коренных пород; увеличения концентрации растворенных неорганических составов в грунтовой воде; и изменения химии грунтовых вод и их гидрологического режима.



*Залесённый карст в Словении. Фото Джона Гунна (John Gunn).*

Фундаментальна для заготовки леса или действий лесоводства на карстовых областях потребность тщательно оценить ценности и чувствительность поверхностного карста и его возможности соединения (или открытость) к подповерхности. До действий лесоводства методология обязана инвентаризировать и нанести на карту карстовую область, оценить её чувствительность к изменениям (или уязвимость) и развить подходящие предписания управления. Рассмотрение должно быть дано анализу типа и величине действий лесоводства в пределах карстового водосборного бассейна.



Активность лесоводства может иметь место с воздействиями на целостность карстовых ландшафтов с карстовыми воронками (карстовые сточные колодцы). Строительство дорог и заготовка древесины удаляет естественно развитую лесную растительность. Естественные лесные области обычно заменяются одновозрастными «лесопосадками». Карстовые воронки без адекватных буферов могут быть заполнены обломками заготовки леса и их более крутые внутренние склоны дестабилизируются. Озеро Бонанза (Bonanza), Остров Ванкувер. Фото Пола Гриффитса (Paul Griffiths).

## Рекомендации

- (39) У сельскохозяйственной деятельности есть возможность вызвать существенные неблагоприятные воздействия на карстовые геоэкосистемы. Менеджеры охраняемой области должны: (а) обращать особое внимание на любые предложенные изменения в использовании земли, и (б) давать рекомендации о соответствующем типе сельского хозяйства и специфических условиях на территории в порядке минимизации воздействия на количество и качество воды.
- (40) Относительно использования земли, пахотная земля требует, чтобы осторожное управление почвой минимизировало эрозионную потерю и изменение свойств почвы, таких как аэрация, стабильность агрегатов и содержание органического вещества, и поддержание здоровой биоты почвы. Землей пастбища нужно управлять, чтобы поддерживать покрытие растительности, обращая особое внимание на уровень пастбищной нагрузки. Поскольку карстовые воронки обеспечивают пункты поглощения, их нужно оставить в их естественном состоянии, и они никогда не должны быть заполнены или используемы для избавления от отходов.
- (41) Везде, где возможно, буферные зоны должны быть установлены вокруг областей сконцентрированных поглощений, таких как поглощаемые потоки, карстовые воронки или другие естественные отверстия, поскольку они – каналы для движения загрязнителей и загрязняющих агентов в подповерхностную карстовую окружающую среду. На пахотной земле никакое вспахивание не должно быть позволено в буферных зонах, и полное покрытие растительности должно быть поддержано, чтобы отфильтровывать любые отложения в стоке от вспаханной земли. В лесах важно сохранение и потенциальное повышение местной растительности в буферных зонах.
- (42) Относительно количества воды, контроль должен быть ориентирован на количество грунтовой воды, извлекаемой для ирригации. Сбор дождевой воды должен использоваться максимально.
- (43) Относительно качества воды, нужно препятствовать использованию пестицидов и гербицидов, если не абсолютно необходимо, чтобы управлять вредителями и сорняками. Использование удобрений должно быть уменьшено и, где только возможно, естественные удобрения должны использоваться. Буферные зоны вокруг областей сконцентрированных поглотителей, должны уважаться, и внесение химии не должно иметь место в течение времени, когда почвы в или близко к насыщенности и есть риск поверхностного потока, вмывающего химикаты в карст.
- (44) До любой заготовки леса или действий лесоводства на карстовых областях процедура обязана инвентаризировать и нанести на карту область, оценить её чувствительность и/или уязвимость, и развить подходящие предписания управления. Рассмотрение должно быть дано предшествующему анализу типа и величине действий лесоводства в пределах определенного карстового водосбора, плюс развивают мониторинг, чтобы гарантировать, как предписания были осуществлены и как хорошо чувствительные карстовые области охранялись.

- (45) *Естественные леса, развитые на карстовых ландшафтах, включая зрелые деревья и леса чрезмерно быстрого роста, не должны быть срезанными, вырубленными, или подвергнуты любому антропогенному воздействию. Вместо этого эти леса должны быть строго защищены адекватным управлением охраны, так, чтобы поверхностная и подземная карстовая окружающая среда продолжала пользоваться преимуществами услуг этих экосистем.*
- (46) *В областях, где местный лес был очищен и заменен другими разновидностями, менеджеры должны запланировать замену неродных разновидностей типом леса, который лучше всего приспособлен к экологическим условиям участка.*



*Удаление естественной лесной растительности сплошной рубкой, сопровождаемой пожаром, может вызвать существенную эрозию почвы, напоминающую «скалистое опустынивание», наблюдаемое в некотором Южном китайском карсте и Динарских карстовых областях. Эта деградация карстовых ландшафтов может изменить гидрологические поглощения, так же как привести к потере среды обитания и снижению биологического разнообразия. Огонь вызывает прокалывание и разрушение (например, растрескивание) верхних эпикарстовых поверхностей коренных пород. Карст Ручья Кинман (Kinman), Остров Ванкувер. Фото Пола Гриффитса (Paul Griffiths).*



*Сплошная заготовка естественно развитых лесов в карстовых областях с тонкими почвами может привести к серьезной потере почвы сползанием в трещины, увеличением трещин и других отверстий в коренных породах. Установленное прокаливание и/или пожар могут сделать это хуже влияния заготовки леса. Прежде покрытые почвой карстовые формы с глубокими углублениями обнажены. Карст Реки Тахсиш (Tahsish), Остров Ванкувер. Фото Пола Гриффитса (Paul Griffiths).*

## **Добывающая промышленность**

Примечание относительно терминологии. Использованы термины «шахта», «колодец» и «карьер», чтобы описать участок, из которого были извлечены камень или полезные ископаемые. Некоторые авторы используют термин «карьер» там, где камень извлекается и «шахта» для извлечения других полезных ископаемых, но такое использование нелогично. В каждом случае извлечение может иметь место на поверхности, когда это иногда предусматривается словом «открытый» как в «открытом колодце» или «карьере», или из-под поверхности. В этом документе мы используем термин «карьер» для поверхностных раскопок и «шахта» для подземных работ.

Пещеры и карстовые области содержат минеральные отложения, которые использовались людьми, начиная с так называемого «каменного века». Известняк, самая обычная горная порода, на которой находятся карстовые ландшафты, использовался тысячами лет как строительный камень. К XXI столетию он стал одним из наиболее широко используемых материалов в мире, включаясь в конструкции, как цемент и как компонент, особенно в бетоне; в химических и фармацевтических отраслях промышленности; в изготовлении бумаги и бумажной массы; в сельском хозяйстве как известь; в изготовлении железа и стали; как размерный камень и декоративные породы; и во множестве экологических процессов, включая удаление серы из газа. Доломит обычно используется как удобрение. Некарбонатные породы, формирующие карст также имеют практическое использование. Гипс обычно применяется в удобрениях и в строительной промышленности; соль находит много использования в пищевых и химических промышленности; железные формации являются существенными для изготовления железа и стали; и кварцит - обычный декоративный камень. Поэтому не удивительно, что у добывающей промышленности есть возможность воздействовать на пещеры, карстовое георазнообразие и экосистемы.

В дополнение к коренным породам несколько экономически важных отложений обычно связываются с карстовыми областями. Некоторые полезных ископаемых, особенно те, которые содержат цинк, свинец и серебро, но также и флюорит, барит и апатит, среди других, заполняют разрушенные структуры, или прожилки в пределах карбонатных толщ, иногда связываемых с древними чертами растворения, названными «палеокарстом». Иногда ценные полезные ископаемые захвачены пещерами случайно, как может иметь место с минерализованными прожилками или трещинами, облегчая доступ к участку, который будет разрабатываться. Полезные ископаемые экономической ценности могут быть сконцентрированными в карстовых депрессиях или быть вымыты в пещеры. В центральной Бразилии алмазы из конгломератов были добыты в кварцитовых пещерах, которые потребовали строительства каменных стен и модификации галерей пещеры. Во всем мире, приблизительно 60% всей нефти и 40% всех газовых запасов содержится в

карбонатных породах, ассоциируясь, главным образом, с вторичными структурами пористости, такими как высокие горизонты проницаемости и изолированные полости (названные «пустотами» в нефтяной литературе).

Есть некоторые полезные ископаемые, для которых, хотя не установлено нахождение в пределах карстовых пород, может иметь их генезис, по крайней мере, частично, связанный с карстовыми процессами. Это связано с глиноземом, богатым алюминием остатком выветривания, обычно связанным с карстовыми породами. Чрезмерное использование грунтовых вод (иногда называют «добыча воды»), хотя не определена для карстовых областей, можно рассмотреть как форма добывающей деятельности, особенно если откачка воды превышает поступление. Это часто имеет место при осушающей схеме в большой шахте.



*Карьерный конус и частично разрушенная пещера, Таиланд. Фото Джона Гунна (John Gunn).*

Заключительная категория полезных ископаемых, связанных с пещерами, является химическими или органическими отложениями, сформированными в сухих галереях. Селитра – почвенные отложения, богатые нитратом, которая обычно образуется в пещерах во всём мире, и использовалась экстенсивно как первичный компонент для создания пороха, главным образом в течение XVIII и XIX столетий. Гуано, богатые органикой экскременты птиц и летучих мышей, добывалось экстенсивно в 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. Она далека от того, чтобы быть возобновляемой деятельностью – она является полностью разрушительной для важных палеоэкологических архивов и очень разрушительной для беспозвоночных сообществ, зависящих от гуано. По сей день гнезда птиц, произведенные с использованием слюны салангана, легально собираются в пещерах Малайзии и Таиланда, и которые будут проданы, как дорогой гастрономический деликатес.

Полезные ископаемые, связанные с карстом, извлекались с доисторических времен. В содержащем углерод известняке около Ландудно (Llandudno), Великобритания, медные рудники датируются около 4000 лет назад и мумии в пещерах свидетельствуют о замечательных подвигах американских индейцев, которые проходили километры пещерных галерей в Мамонтовой пещере, США, чтобы собрать гипс и кремний, используя элементарные факелы. Точно так же Местные Австралийцы пересекли приблизительно 1000 м галерей к шахте кремния в пещере Куналда (Koonalda), Нуллабор (Nullarbor). Добыча известняка или травертина в строительных целях продолжалась тысячелетиями, особенно в богатой карстом Средиземноморской области. Связанный с европейским «открытием» Америк и Австралии, экономическая важность карстовых отложений привела к буму в связанной с гуано промышленности удобрений и крупномасштабной добычей селитры в пещерах, которая в США была важна для производства пороха во время его Гражданской войны 1860-ых гг. Начиная с промышленной революции, там был увеличен запрос на несколько связанных с карстом минеральных товаров.

Воздействие на окружающую среду отраслей добывающей промышленности изменяется широко в зависимости от действий, типа отложений и добывающей техники, и также от экономических факторов. Карбонатные породы составляют около 15% континентальной поверхности Земли, и рыночная цена, поэтому ниже, чем менее обычные полезные ископаемые. Однако есть постоянно увеличивающееся требование на карбонаты и камни высокой чистоты, используемые в фармацевтической и химической промышленности, что управляет их более высокой ценой. Извлечение других полезных ископаемых, которые включают карстовые породы, также управляется экономическими факторами, с ценами минеральных предметов потребления, широко колеблющихся согласно спросу. Один цикл увеличенного спроса связан с быстрым ростом китайского рынка с поздних 2000-ых гг. и вовлекает основные металлы, такие как железо. Цены других критических металлов также увеличились из-за быстрого роста сектора возобновляемой энергии с литием, никелем и кобальтом, важными для изготовления электрических автомобильных батарей. Эти экономические мегациклы питают глобальную горнодобывающую промышленность и увеличивают давление на извлечение минерального сырья, чтобы находиться в или близко к охраняемым областям. Это – специфическая проблема для развивающихся стран, где высокий спрос, и, следовательно, высокие цены, которыми управляют эти металлы, сделали их стратегическими предметами потребления.

### *Извлечение карбонатных пород*

Немного известняка очень высокого чистоты или доломитовых отложений эксплуатировались, используя подземные шахты, но глобально огромное количество породы было извлечено из открытых карьеров. В развитых странах раньше карьеры были небольшими местными предприятиями, однако, большая часть пород теперь извлекается из небольшого количества больших карьеров, обычно расположенных на склонах холмов или на борту долин. Многие из этих карьеров работали в течение многих десятилетий, и поскольку разрешение для новых участков обычно трудно получать, имеется тенденция для операторов существующих участков, чтобы стремиться расширяться или пойти глубже. Одна специфическая проблема для менеджеров охраняемой области состоит в том, что участки, возможно, работали в, или на границе охраняемой области прежде, чем она определялась, как имеет место в Национальном парке Пик Дистрикт (Peak District), Англия.

В развивающихся странах, и особенно в тропических областях, есть все еще много маленьких известняковых карьеров, и они могут быть особенно проблематичными в областях конического карста или башенного карста, где относительно маленький карьер может удалить весь холм, который может содержать эндемичные разновидности. В этих ситуациях развитие большого карьера за пределами охраняемой области и закрытие маленьких карьеров, вероятно, значительно уменьшит воздействия, особенно если более высокие экологические стандарты будут требоваться на большем участке.

### *Извлечение железных формаций*

В отличие от карбонатных пород, которые обнажаются на обширных территориях, железные формации – намного менее распространенные породы, образовавшиеся из-за определенных геологических событий, которые имели место более миллиарда лет назад. Поскольку высокая концентрация железа происходит из-за выщелачивания кварца и железной мобилизации (те же самые процессы, которые создают пустоты и пещеры), большинство высокосортных рудных тел связано с пещерами. Эти породы находятся в высоком экономическом запросе и, в Бразилии, существенная часть обнажений железных формаций были уже добыты, со многими из остающихся областей, включенных в будущие планы горной промышленности. Хотя верно, что большинство шахт реализуется в локальном воздействии из-за относительно маленького размера, даже для самых крупных шахт, имеются обычно индустриальные заводы, связанные с участком, помимо обширной цепи поставщиков, что одобряет быстрое развитие городов, приводящее к значительному воздействию на значительно больших территориях. В Караджасе (Carajás), Бразильская Амазония, самые большие в мире железные отложения не были обнаружены до 1967 г. и они расположены на железных плато, которые содержат более, чем 2000 пещер. У области первоначально была низкая популяционная плотность, прежде всего индийские племена, живущие в древнем тропическом лесу Амазонки. Добыча началась несколько лет спустя и к 2020 г. было задействовано более чем 300000 человек, живущих поблизости в новых городах, поддержанных шахтной активностью.

### *Воздействия добывающей промышленности*



Как отмечено во введении, породы и полезные ископаемые могут быть извлечены из карьеров или из подземных шахт. Воздействия этих двух форм извлечения имеют тенденцию быть совсем различными, особенно на охраняемых областях, и поэтому рассмотрены ниже отдельно.

## Воздействия карьеров

У карьеров есть два широких типа воздействия; во-первых, прямые воздействия в пределах участка и, во-вторых, косвенные воздействия на более широкую территорию. Первое воздействие участка – следствие удаления любой вышележащей почвы и поверхностных отложений для вскрытия породы, которая будет добываться. Там где эта порода карбонат, потеря почвы проявляется в непосредственной потере большей части углекислого газа, который ведет процесс растворения, поскольку он производится в почвенной зоне. После удаления любой почвы и поверхностных отложений первая порода, которая будет удалена, происходит из эпикарста, области, где происходит большая часть растворения. Удаление этой породы будет непосредственно воздействовать на растворение и поэтому на количество карбоната кальция, достигающего источников, водосборный бассейн которых включает карьер. Например, в лесу Диен (Dean), Великобритания, имеется известняковый карьер в водосборном бассейне источников, которые охраняются, потому что они выносят известковый туф. Источники мониторят, чтобы определить, уменьшают ли карьерные работы груз карбоната в источниках и воздействуют ли на осаждение известкового туфа.

Относительно низкая стоимость карбонатных пород означает, что под толстыми вскрышными породами разрабатывается мало карьеров, но это не тот случай, когда карьер добывает более ценный минерал. В этом случае материал, не имеющий экономической ценности (вскрышная порода или вмещающая порода для интересующего минерала), откладывается в хвостохранилищах или в виде отвалов, которые могут оказывать более неблагоприятное воздействие на окружающую среду, чем карьер.

Более старые карьеры обычно располагались на склонах холмов или долин, поскольку легче извлечь камень сбоку, чем идти вглубь. Это приводит к модификации поверхностных ландшафтов или полному разрушению, что является специфическим беспокойством в областях конического или башенного карста, когда карьерные работы могут удалить весь холм. В дополнение к очевидной потере георазнообразия много холмов в тропических областях – места скопления летучей мыши и содержат редкие виды, некоторые из которых могут быть эндемичными для единственной башни.

Поскольку карьеры расширяются в стороны или вертикально, существует большая возможность пересечения с элементами карстовой системы дренажа (каналами) или пещерами. Если у карьера есть разрешение от соответствующих властей, нет никакого механизма для того, чтобы избежать разрушения пещеры, однако, разрешения должны включать требование для научной регистрации морфологии пещеры и отложений. В некоторых странах действует законодательство, требующее компенсации за разрушение пещеры. В Бразилии, например, было юридически позволено разрушение любой пещеры, которая не была классифицирована как чрезвычайно важная, при условии, что за разрушение давалась компенсация или денежно-кредитная оплата, или постоянная охрана другой пещеры или пещер. Это привело к созданию существенных охраняемых областей, включая новые национальные парки, которые защищают важные карстовые области и пещеры. Однако, размещение ценника на пещерах не без рисков как стратегия охраны, так как цена обычно привязывается к правительственному экономическому индексу, в то время как цены на руду изменяются широко. Во время товарного бума металлов, который преобладал с 2000-х годов, затраты, связанные с разрушением пещер, можно считать ценой, которую стоит заплатить, если сравнить с гораздо более высокими финансовыми ресурсами, необходимыми для открытия и эксплуатации карьеров. Кроме того, стоимость запасов полезных ископаемых, заблокированных любой пещерой, обычно превышает цену, которую придется заплатить за разрушение пещеры. В начале 2020 г. общий необратимый ущерб в Бразилии может составить до 1 миллиона долларов США на каждую пещеру.

Когда карьер, или часть карьера, достигает состояния, когда порода больше не будет извлекаться, тогда есть возможность восстановления, которое будет особенно ценным, если карьеры закрываются в пределах охраняемой области. Одна возможность может состоять в том, чтобы построить новый эпикарст, создав его из любых отходов известняка, имеющегося на дне карьера (которые, возможно, нуждаются в раскалывании для улучшения инфильтрации), и покрыв его почвенным материалом или измельченным известняком (от 3 мм до пыли) с органическими добавками. На окраинах карьера метод воспроизведения формы рельефа направлен на создание форм рельефа, подобных тем, которые встречаются в естественном карсте за пределами области разработки карьера, таких как каменные контрфорсы, оголовки и осыпи.

Воздействия за пределами области карьера связаны, прежде всего, со взрывами и водой, и в обоих случаях имеется возможность для карьера вне охраняемой области оказывать воздействие на охраняемую область. Воздействия взрывов сложны и связаны как с проектированием или выполнением взрыва, так и с геологией. Есть примеры пещер, которые были пересечены карьерами, в которых не было никаких повреждений в морфологии галерей или натёков и другие примеры, где пещеры в нескольких сотнях метров от карьера были повреждены. Дальнейшее рассмотрение – воздействия шума и вибрации от взрывов на фауну пещер, которые плохо понятны. Несмотря на эти факторы, ясно, что воздействия могут быть минимизированы современным проектированием взрыва, в котором тщательно вычислено

количество взрывчатого вещества и его положения в каждой взрывной скважине, и задержки в миллисекунды используются, чтобы уменьшить избыточное давление воздуха и вибрацию. Дальнейшее рассмотрение состоит в том, что в прошлом самым обычным взрывчатым веществом было ANFO (нитрат аммония и топливное масло) смешанный у, или даже в буровой скважине. Оно представляет угрозу длительного DNAPL (плотная неводная фаза жидкости) загрязнения. Современные взрывы используют заранее перемешанный ANFO, обычно с эмульсией взрывчатого вещества. Однако хранение топливного масла создает возможность попадания в карст. Неправильное обращение с нитратом аммония может также привести к загрязнению нитратом грунтовых вод. Оба продукта, используемые для создания ANFO, обычно хранятся и смешивают в карьере перед использованием.



*Карьерная стенка в карсте Лагоа Санта (Lagoa Santa), Бразилия, показывающая подпочвенные башни. Фото Аугусто Аулер (Augusto Auler).*

Гидрологические воздействия карьеров связаны с течением воды внутрь или покидающей участок. Как с воздействием взрывов, это важно для тщательной оценки гидрогеологической ситуации. Вода может попасть в карьер поверхностным потоком или при пересечении главных путей потоков грунтовых вод. Поверхностные потоки нуждаются в планировании дальнего действия для управления водой, захваченной из дренажных бассейнов расширением карьера, которая может разрушить деятельность карьера. Поток грунтовых вод в карьер может сильно изменяться. Некоторые карьеры закрылись из-за наводнений грунтовых вод, в то время как другие простираются на более чем 100 м ниже оригинальной поверхности земли, но получают небольшой боковой приток воды. Там где карьер действительно захватил грунтовые воды более широкой области, это может сопровождаться развитием карстовых воронок (провальных или суффозионных), и они могут быть в нескольких сотнях метров вне участка, прилегающего к карьере. Все притоки в карьер могут потенциально увеличить мобилизацию загрязнителей в пределах карьера и транспортировать их к скважинам и источникам.

Гидрологические воздействия воды, покидающей карьер, зависят от того вытекает ли вода на поверхность или выкачивается из водоносного горизонта. Вода, вытекающая из карьеров по поверхности, часто содержит много ила, который может засорить поглощение в карстовый водоносный слой или изменить и повредить текущие потоки и среды обитания. Загрязнители карьерных операций переносятся в поверхностных потоках и часто содержат илы. Такие воздействия могут быть уменьшены, направляя воду в отстойные бассейны, у которых должна быть способность удерживать, по крайней мере, наводнения со 100 летней вероятностью. Если высокие уровни загрязнителей накапливаются в отложениях, они должны быть удалены и размещены на подходящих свалках. Воздействия на водоносный слой происходят там, где необходимо выкачивать воду из карьера, чтобы понизить горизонт грунтовых вод и позволить карьере действовать. Осушение карьера поднимает риск запуска развития карстовых воронок, которые могут повредить человеческой инфраструктуре. У карьера также есть возможность уменьшить или остановить поток из карстовых источников и колодцев. Наоборот, режим потоков, которые получают накачанную воду, изменяется с увеличением, как полной разгрузки, так и величины пиков наводнения.

Карьерная пыль от добычи и действий по разрушению пород может увеличить нагрузку отложений, когда есть возможность вымываться в карстовые объекты и, поэтому, разрушая гидравлическое поведение и осадконакопление в поверхностных потоках. Контроль за пылью – продолжающаяся проблема для многих карьеров и может привести к

широко распространенному загрязнению воздуха микрочастицами. После того, как срок службы карьера был достигнут, есть долгосрочные проблемы, связанные с управлением возможностями, чтобы удостовериться, что он не приводит к воздействиям на грунтовые воды от незаконных свалок домашних и промышленных отходов. Некоторые правительства требуют плана восстановления и финансовых исполнительных облигаций для карьеров и шахт. Использование земель после прекращения операций в карьере может также нуждаться в регулировании относительно развития.

Обычно имеется предубеждение против любых новых карьерных работ или расширения карьеров в охраняемой области, таким образом, важно, чтобы любое заявление тщательно рассматривалось на предмет воздействий и потенциальных воздействий, если порода вместо этого будет добыта в другом месте. Если карьер пересек и разрушил галереи пещеры или есть свидетельство быстрого гидрологического соединения с источниками, тогда это обеспечивает хорошее основание для того, чтобы выступить против его дальнейшего расширения. Однако, в другой ситуации углубление или расширение области существующего карьера, возможно, не приводит ни к каким новым воздействиям на карстовый рельеф и гидрологию и может быть предпочтительным, чем открытие нового карьера. Там где углубление карьера требует осушения, это поднимает дополнительные вопросы и, во всех случаях, заявление должно обеспечить убедительные доказательства того, что не будет никаких неблагоприятных воздействий на охраняемые территории, скважины и источники, которые служат важными источниками воды для людей и экологии.

## Воздействия шахт

Поверхностные воздействия подземных шахт ограничены областью вокруг входа (входов), которые ведут вниз в шахту вместе с любыми областями, где полезное ископаемое обрабатывается, или от остатков извлекаются. Никакая новая шахта не должна располагаться в охраняемой области, если только нет очень сильной стратегической необходимости, и тогда области обработки и ненужные насыпи должны быть достаточно далеко вне границы охраняемой области. Однако, может существовать возможность извлечь полезные ископаемые из-под охраняемой области, используя шахту (шахты) с входами вне охраняемой области. Современные методы горной промышленности минимизируют риск обрушений во время работы, и самое существенное воздействие, вероятно, происходит из потребности удалить грунтовую воду из горных выработок. Один из методов, который широко использовался в прошлом в некоторых карстовых районах, заключался в прокладке дренажных штолен из глубоких долин для эффективного снижения уровня грунтовых вод на большом участке. Это приводило к тому, что родники и ручьи, питаемые родниками, теряли сток и в некоторых случаях полностью пересыхали, в то время как сток рек, питаемых штольнями, увеличивался. Современные более глубокие шахты обычно требуют крупномасштабных осушающих схем, некоторые из которых вовлекают скорости откачки выше  $6 \text{ м}^3/\text{с}$ . В пористых средах результаты откачки проявляются в конусе депрессии в горизонте грунтовых вод, но в большинстве карстовых пород проницаемость является заметно анизотропной, и воздействия осушения могут расширяться до многих километров, особенно там, где шахты пересекают каналы. Как с дренажными штольнями, общие воздействия – потеря потока к источникам и потокам, питаемым источниками, и увеличение потока в реках, которые получают откачанную воду. Там где коренные породы перекрываются больше чем 3 м почвой, снижение уровня грунтовых вод в поверхностных отложениях обычно приводит к формированию карстовых воронок проседания. Дополнительные воздействия касаются изменений в химии воды и в грузе взвешенных наносов.

Шахты и карьеры могут пересечь пещерные галереи, что может воздействовать или изменить климат пещер и иметь следствием потерю среды обитания для подвергаемых опасности летучих мышей. Усилия минимизировать воздействие для значимых летучих мышей или на среды обитания вымирающих видов должны быть учтены, разрешая шахту или карьер. Известняковый карьер Греер (Greer) в Западной Вирджинии, США, например, работал в тесном сотрудничестве с исследователями пещер, чтобы позволить картировать Пещеру Хелхолл (Hellhole) протяженностью 50 км, расположенную около карьера и важного места слячки для двух критически подвергаемых опасности видов летучих мышей.

Как имеет место с карьерами, у шахт есть ограниченная продолжительность жизни, обычно не больше, чем несколько десятилетий. В некоторых случаях, полезное ископаемое исчерпано, но обычно шахты оставляют, потому что они становятся неэкономными из-за увеличенных затрат извлечения или уменьшения рыночных цен. Если новое использование найдено для полезных ископаемых, с последовательным увеличением стоимости, может возникнуть давление, чтобы вновь открыть шахты, которые были вышедшими из употребления в течение многих десятилетий. В странах с длинной историей эксплуатации полезных ископаемых есть много шахт и добывающих участков, которые были оставлены обычно без попытки восстановления. В некоторых случаях этим участкам определили охрану с учетом их исторической важности или потому что редкие растения были выявлены на нарушенном грунте и насыпях пустой породы. Другие участки представляют экологические проблемы, такие как эрозия почв, кислый шахтный дренаж и формирование воронок обрушения. Надлежащее закрытие шахты, которое называют «списыванием», является часто очень сложным и дорогостоящим, и в прошлом редко включалось в добывающие эксплуатационные затраты. Даже были попытки избежать любых затрат списывания тем, что называли «стратегическим банкротством». Списывание и правильное последующее закрытие шахт в карстовых областях должно включать долгосрочный мониторинг движения поверхности грунта, качества грунтовой воды и поверхностных и подземных экосистем.

## Резюме

Задача регулирования добывающей промышленности с сохранением карста и пещер является всегда стимулирующей, поскольку это имеет отношение и с потенциальными или фактическими воздействиями на окружающую среду и с политическими и экономическими факторами, вовлекающими заинтересованные стороны, которые работают в масштабах от международного до местного. В некоторых случаях разработки были разрешены в охраняемой области, потому что это, как полагали, «в национальном интересе» и были случаи, когда охрана была полностью удалена, чтобы позволить разработки. Однако в XXI столетии произошло возросшее принятие методов ESG (Экологические, Социальные, Управленческие) в корпоративной промышленности и признание, что отказ охранять важные участки может повредить репутации компании и, в конечном счете, должностных лиц. В 2020 г. разрушение важных археологических участков в двух пещерах железной формации привело к существенным протестам общественности Австралии, первоначально среди местных австралийцев, но затем глобально после гласности в социальных сетях. Давление акционеров привело к удалению президента и нескольких старших руководителей, сопровождаемое отставкой Председателя и нескольких Директоров. Парламентский запрос в этом случае является продолжающимся, и, поскольку этот документ написан, и может, вероятно, привести к изменениям в добывающем законодательстве, предоставляя таким участкам большую охрану.



*Известняковый карьер Даулоу (Dowlow) в Ликовом Районе, Великобритания. Площадь карьера около 0.5 km<sup>2</sup>, и в 2021 г. самая низкая точка располагалась примерно на 100 м ниже оригинальной поверхности земли, но никакие каналы или пещеры не были вскрыты, и не было никакого притока грунтовых вод со стен карьера. Фото Тони Марсден (Tony Marsden).*

У большинства отраслей добывающей промышленности есть высокий, не рациональный экологически углеродный след. Считается, что цементная промышленность, например, которая включает высокий температурный выпуск CO<sub>2</sub>, который был включен в породу во время её формирования и диагенеза, ответственен за 8% глобальной эмиссии парниковых газов. Еще больший процент приписан горению ископаемого топлива (газ и нефть), извлеченного из резервуаров карбонатных пород. Поскольку планета изо всех сил пытается уменьшить эмиссию в пределах приемлемых пределов нагревания, эти отрасли промышленности, уже находящиеся на экологическом перекрестке, будут, вероятно, стоять перед трудными временами.

Хотя хрупкая природа карста и пещер мешает им сосуществовать с добывающими действиями, есть потребность получить баланс. Были ситуации, когда карьеры работают очень близко к пещерам, или шахты простираются ниже карста, не производя значимое воздействие, и другие, где было широко распространенное разрушение гидрологических систем, полное разрушение георазнообразия и потеря местных видов. Маловероятно, что можно когда-либо добиваться совершенного равновесия между выгодой и потерями, однако, со строгой научной оценкой, детальным мониторингом, и операцией минимального воздействия, это может стать возможным.

## **Рекомендации**

- (47) Должно быть предубеждение против новых шахт или карьеров в карсте охраняемых областей, если нельзя доказать, что нет никакого альтернативного источника для полезных ископаемых, который в дефиците и высокой экономической или стратегической ценности.
- (48) Любое предложение о новой шахте или карьере в карсте должно подлежать детальной экологической экспертизе, которая рассматривает обе особенности в и на границе области, так же как потенциал для отдаленных воздействий через поверхностные воды и карстовые грунтовые воды.
- (49) Экологическая экспертиза должна описать и оценить ценность пещер, карстового рельефа и экосистем. Она должна оценить, есть ли альтернативные участки для разработок, где были бы менее существенные воздействия. Где нет никаких альтернативных участков, тогда должна быть тщательно разработанная

буферная зона охраны везде, где возможно, вокруг существенных пещер и карстовых объектов, чтобы защитить целостность экосистемы пещер, так же как непрерывность гидрологических процессов.

- (50) Там, где нет никакой альтернативы разрушению, объекты должны регистрироваться и, где важно, удаляться для научного исследования – то есть, регистрация и удаление натёков и отложений для палео-экологического исследования.
- (51) Там где разработки месторождения разрешены, должна быть хорошо продуманная система охраны окружающей среды, так же как протокол мониторинга, чтобы сделать запись условий во время операции и эффективности системы охраны, таким образом, изменения могут быть сделаны, если нужно. Должен также быть детальный план закрытия, который включает соответствующее восстановление и долгосрочный контроль, включая обязательство, оплаченное заранее, чтобы быть уверенным, что финансирования для закрытия будет доступно.

## Развитие и инфраструктура

В течение всей истории люди использовали карст и пещеры для множества целей. Структуры были построены для проживания, защиты, сельского хозяйства или водоснабжения. В Средневековье в Европе укрепления и замки были построены в пещерах, таких как замок Предъяма (Predjama) в Словении, чтобы обеспечить и охрану, и запасной выход через проходы пещеры в случае вторжения. Мелкомасштабные отрасли промышленности также использовали пещеры в своих интересах. Создание веревок имело место в большом входе пещеры Пик (Peak), Англия, от Средневековья до настоящего времени, и хотя веревки теперь делаются в значительной степени для продажи туристам, которые посещают пещеру, там было однажды маленькое поселение изготовителей веревок, живущих в пещере. В Южно китайском карстовом объекте всемирного наследия во входах в пещеру все еще есть маленькие жилища. Много пещер используются, чтобы выдерживать сыр, и знаменитый сыр с плесенью Рокфор может только использовать свое название, если созрел в пещере Комбалоу (Combalou), Франция. Грибы, пиво, вино, кимчи и несколько других продуктов были, и во многих странах все еще производятся или сохраняются в пещерах. Дорожное строительство иногда использовало в своих интересах галереи пещер как более удобный выбор, чем строительство дорогостоящих туннелей. Дороги, которые проходят сквозь пещеру Мас-д'Азил (Mas-D'Azil), Франция, и участок пещеры Дженолан (Jenolan), Австралия, хорошие примеры. Много карстовых источников показывают некоторый тип технических структур. Дальнейшие примеры инфраструктуры в пещерах и карсте касаются использования воды (см. Водоснабжение), создания карьеров и шахт (см. Отрасли добывающей промышленности), и адаптации туризма (см. Экскурсионные пещеры).



*Замок Предъяма (Predjama), Словения, был построен во входе пещеры в XII столетии. Фото Дэвида Гиллиесона (David Gillieson).*

Только естественно, что как увеличение населения в tandem с потребностью в инфраструктуре, карстовые области как затрагивают, так и будут затронуты такими событиями. Экспоненциальный прирост населения, который произошел с XIX столетия, был близко связан с индустриальным развитием и урбанизацией. Общая численность населения, живущего в

карстовых областях или в зависимости от карстовых ресурсов, таких как вода, всегда растёт, будучи оцененным как 1,18 миллиардов в 2020 г. В областях, где карст – доминирующий тип ландшафта, все развитие, включая все города и отрасли промышленности, должно были быть построены на карсте. Это привело к увеличенному экологическому давлению на хрупкие карстовые экосистемы. Однако, продвижение в понимании карстовой динамики, вместе с более жизнеспособным подходом, привели к важным продвижениям в признании как развития, так и охраны карста для сосуществования.

Развитие и инфраструктура в карстовых районах могут быть разных типов и функций, что приводит к различным типам уязвимости и воздействия. Широкая классификация принята, включая:

- Линейные инфраструктуры.
- Дамбы и бассейны.
- Отрасли промышленности.
- Городская застройка.

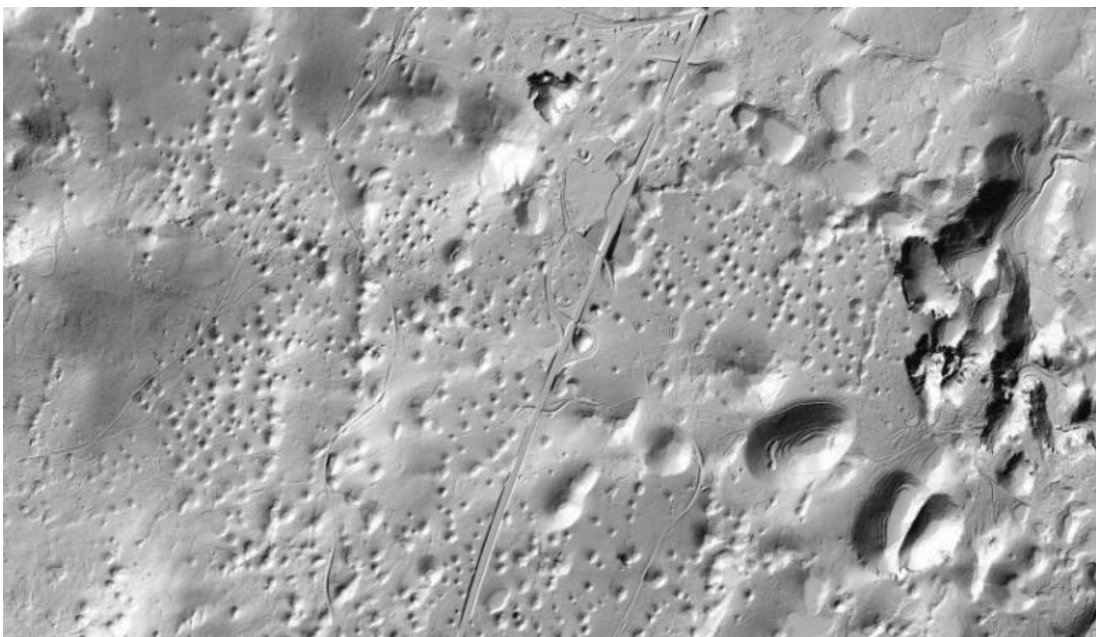
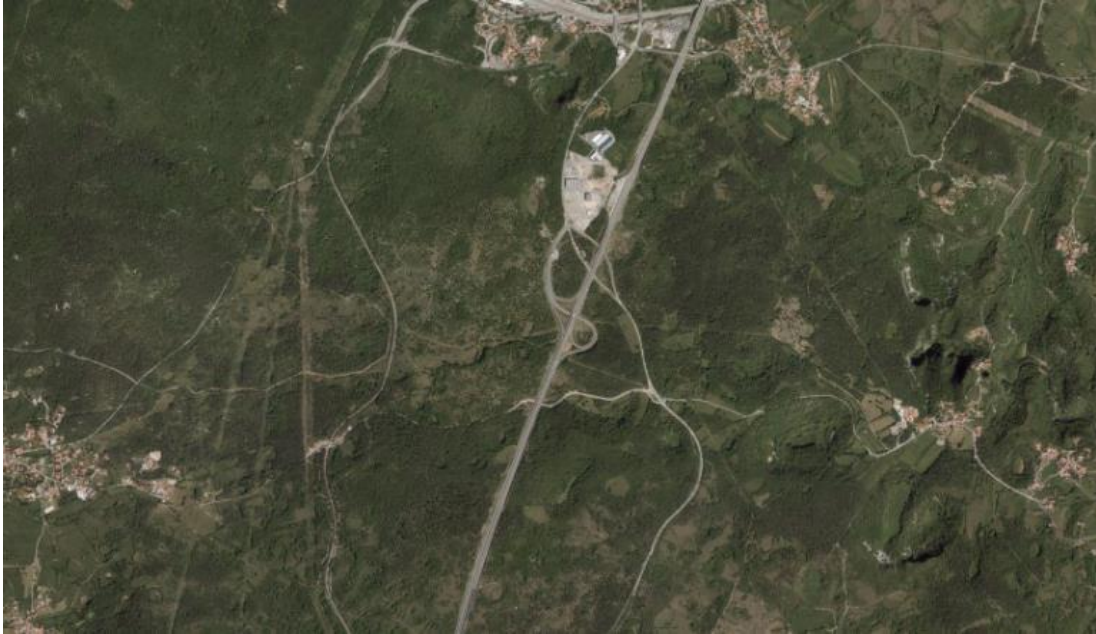
Эти различные типы обычно связаны, и разделительная линия между ними часто расплывчатая. Как правило, к сожалению, не проведенной в жизнь всюду, исследование экологической экспертизы, вовлекающее участок и прилегающее окружение (буферная охранная зона), должно быть сделано до любого сооружения. В этой зоне более детальное исследование должно быть выполнено, вовлекающее описание пещер и поверхностных карстовых объектов для оценки, должен ли начинаться проект или он должен искать альтернативные местоположения. Изменение местоположения данного проекта иногда невозможно, такого как сооружение некоторых водных бассейнов и дамб. Однако, в большинстве случаев, это действие, которое в начале может выглядеть дорогостоящим и радикальным, в конце может оказаться, мудрым, поскольку оно избежит дорогостоящих процедур, связанных с экологической компенсацией или тяжбой.

### *Линейные инфраструктуры*

Линейные инфраструктуры включают дороги, железные дороги, линии электропередач, водные каналы и другие структуры, которые являются обычно узкими и имеют существенную длину. Существенные для перемещения людей, товаров, воды и энергии, их плотность непосредственно связана с экономическим богатством и величиной населения.

Из-за характерного пересеченного ландшафта карстовых областей, строительство таких структур может быть напряженным. Строительство туннелей – обычная альтернатива для пересечения карстовых горных массивов и может привести к перехвату неизвестных пещер и к вторжению воды. Дальнейшее рассмотрение – стабильность соседних пещер и как они связаны с вибрацией во время строительства и операций. Частичное или даже полное разрушение пещер из-за транспортной вибрации может произойти, но редко и зависит от местной геологии и глубины пещеры – есть примеры дорог, которые проходят над пещерой, или идут внутри них без значимого морфологического повреждения. Подобные геотехнические решения относятся к использованию пещер как естественных мостов. В таких ситуациях должно быть сделано индивидуальное исследование, чтобы утверждать, что никакое повреждение, как пещер, так и дороги не произойдет. Обычно имеется небольшая степень гибкости в планировании линейных структур, и отклонение вдалеке от более хрупких карстовых зон должно быть принято на ранней стадии, если это вообще возможно.

Сток с шоссе и железных дорог часто загрязненный и может стремиться к дренам и, в конечном счете, к местам поглощения на карстовых территориях, с потенциалом загрязнить источники и водоснабжение. Это может быть очень серьезно, если несчастный случай на дороге приводит к разливу опасных химикатов. Химические составы ведут себя сложным образом в зависимости от их плотности и состава. Очистка загрязненной карстовой почвы и пещер является часто сложной и дорогостоящей. Из-за анизотропной структуры карстовых водоносных горизонтов и быстрого проникновения, для части загрязненных струй существует возможность быстро пройти через каналы, появляясь с высокими концентрациями за часы или спустя дни после поглощения, в то время как остаток веществ сохраняется в эпикарсте и меньших каналах так долго, что они всё еще появляются в более низких концентрациях спустя десятки или сотни дней после поглощения.



*Аэрофото- (верхний) и лидарный (нижний) снимки карстовых воронок, смежных с главным шоссе около Дивака (Divaca) в Словении. Воспроизведено из Атласа Окружающей среды, Экологического Агентства республики Словении (EARS).*

Карст может также затронуть линейные структуры, особенно через развитие карстовых воронок или обрушения в мелкие пещеры. Геофизические исследования могут помочь в понимании расположения пустот и пещер для отклонения маршрута, хотя провальные воронки, вызванные утечкой воды из трубопроводов или потери вдоль построенных дренажных каналов, могут сформироваться после таких исследований. Линии электропередачи создают меньше риска из-за больших интервалов между башнями (опорами), хотя есть случаи карстовых воронок, формирующихся близко к опорам. Приблизительно с 2010 г., был отмечен рост на рынке возобновляемой энергии и, особенно, в выработке электричества, используя ветровые турбины. Хотя они не строго линейные, ветровые башни обычно распределяются параллельными рядами, и требуют подобного рассмотрения. Эти тяжелые структуры имеют некоторую степень пространственной гибкости и должны находиться отдельно от пещер. Ветровые турбины могут также убивать летучих мышей обычно не прямым воздействием лопастями, а баротравмой, внезапным понижением давления воздуха, которое разрушает легкие летучих мышей. Ветровые турбины должны быть расположены и могут управляться после консультаций биологов по летучим мышам, чтобы минимизировать вред видам летучих мышей на территории.



*Отклонение второстепенной дороги от карстовых воронок, как показано выше, является простой и эффективной стратегией, однако, главные шоссе обязаны быть настолько прямыми насколько возможно. Эта фотография показывает карстовую воронку на маршруте автострады через Словению. Карстовая воронка была раскопана, и выход запечатан до осторожного заполнения агрегатами, чтобы уменьшить риск обрушения. Фото Джона Гунна (John Gunn).*



*Маршрут той же самой автострады в Словении проходит над тем, что было первоначально заполненной отложениями открытой пещерой. Сотрудничество между конструкторами и Карстовым Институтом в Постойне гарантировало, что пещера была тщательно документирована перед заполнением агрегатами и запечатала, чтобы уменьшить риск обрушения. Фото Джона Гунна (John Gunn).*

### **Дамбы и водохранилища**

Вода в карстовых областях стремится течь под землей. Хотя потоки поглощаются, карстовые воронки и источники – типичные объекты, но обычно дренаж на поверхности ограничен. Из-за этого в течение истории важно было придумать пути получения доступа к воде и сохранить её для личного потребления или для сельского хозяйства. Это потребовало технических решений, таких как бурение скважин или размещение насосных устройств в пещерах. Подходящая альтернатива – строительство дамб или водохранилищ с целью удержать воду над землей, что дает более легкий контроль и распределение потоков. Карстовые породы – естественные цели для построения дамб, где они обычно представляют области низких высот в ландшафте из-за их высокой растворимости. Кроме того, глубоко врезаемые долины или каньоны, которые иногда образуются из-за обрушения сводов пещер, являются обычными формами рельефа во многих карстовых областях, и могут оказаться привлекательными участками для строительства дамбы. Начиная с античности, тысячи дамб и водохранилищ были построены на карсте, особенно в Европе и Китае.





*Дамба гидроэлектростанции, построенной на карстовой территории, Лаос. Фото Терри Болгера (Terry Bolger).*

Большинство дамб и водохранилищ на карсте имеет небольшую фильтрацию, которая обычно начинается с самого начала, даже когда применено обширное и дорогое устройство противofильтрационной завесы (то есть, заполнение пустот бетоном или другим непроницаемым материалом). Это происходит из-за того, что геофизические методы теряют разрешение с увеличением глубины, и существующая технология не может надежно определить размер и местоположение потенциальных маршрутов фильтрации, представленных каналами и пещерами. Дополнительно, любая дамба или водохранилище имеют поверхность воды на большей высоте, чем существовала ранее, таким образом, увеличивая «гидравлический градиент». Этот увеличенный градиент приводит к росту скорости потока грунтовых вод, превращая его в турбулентный поток, способный удалять отложения, которые когда-то заполняли существующие галереи. Другой потенциальный недостаток состоит в том, что этот недавно созданный градиент увеличивает скорость растворения, вызывая расширение каналов во время жизни дамбы, особенно в эвапоритовых областях, где порода гораздо более растворима, чем в карбонатном карсте. Поэтому не удивительно, что фильтрация стремится увеличиваться во времени. Кроме того, сток через трещины и пещерные галереи вниз по течению от водохранилища и вес водной колонки может вызвать развитие карстовых воронок, которые могут привести к созданию новых зон фильтрации, так же как привести к мелкомасштабным сейсмическим колебаниям в окружающей области. Дополнительные экологические проблемы связаны с гидравлическими связями с другими гидрографическими бассейнами и препятствиями к движению водной фауны, включая загрязнение воды. Как только дамба была признана неэкономичной или слишком экологически вредной, возможно её удаление, хотя это дорогое и технически напряженное предприятие не без собственных рисков. Но это может оказаться менее дорогим, чем длительное заливание раствором, обслуживание или другое оздоровление дамбы.

В некоторых карстовых областях дамбы построены для накопления воды в карстовых водоносных слоях. Вообще более эффективный и менее проблематичный проект помещает дамбу вверх по течению от карстовой области, позволяя накопление отложений там, где они не закроют карстовые каналы, и вода будет двигаться со скоростью, которая позволяет всему потоку поглощаться в водоносный слой. Однако, этот проект не всегда возможен. Альтернативный проект помещает дамбу в или у расположенного вниз по течению края карста, собирая воду непосредственно из карста. Этот метод приводит к более высокому осадконакоплению в пещерах и каналах, и большим воздействиям на экосистемы пещер, не приспособленных к таким гидрологическим условиям. Дополнительно, пролитые загрязнители непосредственно в водохранилище попадут в водоносный слой, в то время как в модели дамбы, расположенной вверх по течению имеется больше возможностей выловить и удалить или не допустить загрязнение прежде, чем оно проникнет в грунтовые воды. Не должны использоваться никакие проекты в мелких, хранящих мало грунтовых вод карстовых водоносных горизонтах, где дополнительная вода будет быстро течь через и из водоносного слоя. Мало помогает увеличению объёма грунтовых вод в больших, глубоких артезианских карстовых водоносных слоях, таких как водоносный горизонт Эдвардс в Техасе.

## *Отрасли промышленности*

Отрасли промышленности имеют различные размеры, цели и формы. Обработывающие заводы, связанные с сырьем, полученным из карста, таким как цемент или внедренные в карст полезные ископаемые, часто располагаются близко к карьеру или шахте, что обычно означает, что они построены на карсте. Некоторые общие особенности этих отраслей промышленности: 1) высокое водопотребление на обработку и охлаждение полезных ископаемых; 2) потребность в ископаемом топливе; и 3) области размещения, которые иногда намного больше, чем заводская площадка, особенно в добывающих областях, где отходы или вскрыша являются существенными. Эти характеристики означают, что некоторые отрасли промышленности наносят большой ущерб карстовой среде и требуют тщательного контроля как жидких, так и атмосферных выбросов. Чрезмерная откачка грунтовых вод может привести к проседанию грунта и вскрытию воронок. Загрязнение воздуха включает в себя не только вредные парниковые газы, но и различные твердые частицы, которые могут повредить пещеры и карстовые образования или попасть в них.

Отрасли промышленности, не связанные с извлечением полезных ископаемых, обычно располагаются ближе к потребителям или к маршрутам транспортировки. Некоторая модификация построения или кодексов зонирования, вероятно, будут необходимы из-за специальной уязвимости карста. Например, SUDS (Жизнеспособные Схемы Дренажа) обычно требует, чтобы разработчики обеспечили поглотительные колодцы или водоемы проникновения, чтобы избежать перегрузки ливневой канализации. В карстовых областях у них есть возможность инициировать провал воронок и изменить количество и качество грунтовых вод. Обычным для многих отраслей промышленности является большой углеродный след, который приводит к сильным воздействиям вне карстовых областей.

## *Городская застройка*

Как обсуждалось в разделе «Специальная природа карстовой окружающей среды и пещерных систем», концентрированное поглощение входит в карст через трещины, карстовые воронки и поноры в естественных условиях, хотя большинство поглощений рассеяно и ослаблено, особенно там, где породы покрыты почвой и растительностью, или поверхностными отложениями. Городские области на карстовых территориях представляют пример чрезвычайных изменений в этих условиях, повышая некоторые из проблем, связанных с другими типами застройки. Города неизменно глубоко изменяют естественную систему просачивания, используя большие области непроницаемых материалов в форме крыш, тротуаров и дорог. Эти изменения, вероятно, приведут к концентрированному стоку, который обычно мутный и загрязнен отложениями, нефтью, жиром, свинцом и другими химикатами. Таким образом, возникает потребность в эффективном пути направления городского дренажа за пределы карста, если возможно, или в коренные породы и идеально улучшить качество воды прежде, чем она войдет в карст. «Колодцы ливневой канализации» важны во многих городах, таких как Боулинг Грин (Bowling Green), Кентукки. Боулинг Грин основан на холмистой карстовой равнине и является одним среди нескольких городов, под которым имеется пещерная система, что увеличивает возможность загрязнения карстового водоносного слоя. Отсутствие ранних инструкций зонирования позволяло строительство в карстовых воронках, которые склонны к затоплению во время ливней. Заполнение других карстовых воронок уменьшило их способность дренажа и уменьшило возможность накопления паводковых вод. Неэффективная естественная система дренажа приводила к наводнению в городах с большими пространствами непроницаемых материалов – общая проблема в некоторых карстовых населенных пунктах. Избавление от мусора и сточных вод является другим ключевым вопросом в карстовых областях, особенно в менее развитых странах. В некоторых городах отсутствует какой-либо тип коллективной септической системы со сточными водами или сливаемыми прямо в дренажные каналы, или в потоки, сливающиеся в самодельные подземные резервуары, или в трещины, или поноры в карсте. Эти зачаточные системы не фильтруют, не уменьшают рассеивание загрязнителей и могут представлять главную угрозу карстовым водоносным горизонтам и пещерным экосистемам. Кроме того, непроницаемый покров может изменить местный гидрограф и создать более быстрый сток, увеличивая уровень воды в пещерах и воронках, и сократить длину штормового ответа, приводящего к меньшему количеству воды, доступной во время засушливых периодов.

Ливневые стоки из городских районов могут быть очень токсичными, содержать масло, жир, бактерии и другие городские точечные и неточечные источники загрязнения. Уровни бактериального загрязнения в городских районах также могут быть очень высокими из-за просачивания из септических канализационных систем, отходов домашних животных и городской дикой природы, что приводит к серьезной деградации грунтовых вод.

Относительно твердых отходов определенные области, которые называют «мусорная свалка», обычно подлежат строгим условиям планирования. Эти области должны быть расположены, если это возможно, вне карста на непроницаемых горных породах, и должны быть оконтурены непроницаемыми барьерами, чтобы предотвратить протечку. К сожалению, в развивающихся странах это редко происходит, приводя к загрязнению почвы и грунтовых вод. Атмосферное загрязнение из-за транспортных средств, домов и отраслей промышленности – другой тип воздействия на окружающую среду, усиленного в городах, и может привести к кислотному дождю и рассеиванию микрочастиц.



*Мусор, транспортируемый пещерным потоком в карсте Лагоа Санта (Lagoa Santa), Бразилия. Фото Люсианы Альт (Luciana Alt).*

Опасные материалы (HazMat) обычно используются и транспортируются через карст, сбрасывание которых приводит к существенным воздействиям на пещеры, карст и ресурсы грунтовых вод. Обнаружение, мониторинг и исправление инцидентов с опасными материалами являются очень трудными из-за следующих проблем:

- Почвы обычно обеспечивают небольшое, если какое-либо ослабление загрязнителей.
- Высокие скорости грунтовых вод ( $> 1$  км/день) в карсте могут распространять загрязнение на большие расстояния прежде, чем оно может быть ограничено и убрано.
- Пути потоков не ясны, таким образом, взаимосвязи между инъекцией и разгрузкой обычно не известны.
- Мониторинговые системы являются трудными и дорогими для установки, опробования и сохранения.
- Мониторинговые системы, возможно, не являются представительными для концентрации или степени загрязнения из-за неоднородной природы потока грунтовых вод в карсте.
- Ограниченное число и пригодность специалистов в карстовой гидрогеологии.
- Методы исправления могут быть трудными для установки и работы, и могут иметь ограниченную эффективность.

Выбросы опасных материалов могут произойти из-за несчастных случаев на производстве; намеренных сбросов; через неподходящее избавление от постпотребительских отходов (гербициды и пестициды) в карстовые воронки, поноры или септические системы; через просачивание из подземных резервуаров хранения; через канализационные системы и септические резервуары; и нефте- и газопроводы. Бензин и другие виды топлива, наряду с растворителями (из химической чистки), являются обычными материалами, которые сливаются в окружающую среду. В дополнение к загрязнению грунтовых вод некоторые из паров могут быть ядовитыми или взрывчатыми, если они накапливаются, и могут привести к взрывчатой окружающей среде в пещерах, коллекторных системах и даже в жилых и общественных зданиях.

Ответ на аварийные инциденты с опасными веществами в карсте является очень трудным, и процедуры должны сначала включать защиту общественной безопасности, сопровождаемой защитой поверхности и подповерхности. Исправление, если возможно, должно включать сдерживание и удаление любых жидких и твердых отходов. Опасные материалы никогда не должны смываться на поверхность, поскольку они могут привести к загрязнению частного и общественного водоснабжения, отравлению биоты пещер, накоплению взрывоопасных паров в пещерах и зданиях, и деградации качества воды в источниках, воздействуя на зависимые от источников экосистемы и расположенных вниз по течению пользователей. Исследование воздействия выпуска опасных материалов в карст должно быть выполнено опытным карстовым экологическим профессионалом.

Чрезмерная откачка грунтовых вод распространена в городских областях. Объединенное извлечение через тысячи общественных или частных скважин может иметь тот же самый эффект, как единственная большая схема извлечения, такая как в шахтах и индустрии. Оседание почвы в городских поселениях распространено во многих областях мира, где используется грунтовые воды, и во Флориде, США, это часто включается в домашние страховые пакеты. Воронки могут возникнуть из-за протечки воды или сточных вод из труб распределения, приводя к перемещению почвы в трещины или формированию пустот в почве, сопровождаемых обрушением. Чрезмерная откачка грунтовых вод в городских областях может также привести к сокращению или полной потере потока из источников, которые являются важным ресурсом для расположенных вниз по течению пользователей, так же как видов, зависящих от источников.



*Ненадлежащим образом сооруженная свалка мусора в карсте Лагоа Санта (Lagoa Santa), Бразилия. Фото Люсианы Альт (Luciana Alt).*

Затопление воронок через неподходящее управление ливневым стоком воды может создать проблемы в карсте. Строительство жилых домов и фирм в воронках вместе с более высоким непроницаемым покрытием, связанным с урбанизацией, может привести к быстрому и продолжительному наводнению. Неподходящее регулирование методов землепользования может привести к закупорке «дренажа» воронки отложениями, растительностью и мусором, и увеличить высоту и продолжительность наводнения.

Там где города расположены на краю карстовых областей, рост города лучше всего направлять в сторону некарстовых областей, где развитие может обычно происходить легче, дешевле и с меньшим количеством воздействий на окружающую среду. Образование общественности может помочь таким усилиям. В Остине (Austin) и Сан-Антонио (San Antonio), Техас, жители, обеспокоенные состоянием своих карстовых водоносных горизонтов, голосовали за небольшое повышение налогов, чтобы собрать сотни миллионов долларов за 20-30 лет на покупку больших карстовых областей, которые отведены для защиты водоносных горизонтов и исчезающих видов, а в некоторых случаях и в качестве парков.

Поскольку большая часть населения в мире теперь живёт в городских областях, города стали ключевыми элементами в повестке дня устойчивого развития. Несколько дружественных климату инициатив и проекты НБС (Решения, Базирующиеся на природе) стремятся смягчить ранее перечисленные воздействия, чтобы достигнуть нейтрального углерода (или, идеально, отрицательного) в окружающей среде. Этот главный недавний сдвиг должен привести к выгоде для карстовой окружающей среды.

### *Развитие и инфраструктура в охраняемых областях*

У охраняемых областей могут быть различные уровни «охраны», с некоторыми даже разрешенными территориями для существования промышленности или городов, если они отвечают некоторым требованиям, в то время как другие территории – изначально дикие области. У большинства более популярных охраняемых областей в карсте есть услуги, такие как центры для посетителей, рестораны и квартиры для штата, ученых и туристов. Ранее перечисленные воздействия также относятся к этим структурам, и они идеально должны быть расположены далеко от более хрупких карстовых объектов. В Национальном парке Гунунг Мулу (Gunung Mulu), Саравак, все центры услуг находятся в нескольких километрах от пещер. Однако здания, расположенные близко к или непосредственно над пещерами и воронками существуют во многих охраняемых областях. Нужно проявить заботу, поскольку были многочисленные случаи воздействий на окружающую среду от этих структур, включая один случай прямой связи между туалетом и потоком в пещере, что было доказано экспериментом по трассированию воды.

Структуры внутри пещер обычно сооружаются по минимуму. Однако, у некоторых популярных охраняемых областей есть подземные рестораны (включая Карлсбадский Национальный парк и Национальный парк Мамонтовой пещеры, оба в США), магазины сувениров, туалеты, амфитеатры для подземных показов, лифты и железнодорожные пути для поездов и фуникулеров. Все эти структуры вовлекают своего рода воздействие на окружающую среду и должны быть установлены только после всесторонней экологической экспертизы. План управления охраняемой областью должен

сделать ясным, оправданы ли они как средства для обеспечения комфорта (или изоляция от естественных условий) и безопасности посетителей.

## Заключение

Карст и люди сосуществовали с тех пор, как первые гоминиды появились, и символическая ассоциация, вовлекающая использование и воздействие произошло с тех пор. Очень немного пещер или карстовых областей полностью свободны от своего рода человеческой модификации, однако, в течение XXI столетия была увеличивающаяся тенденция к достижению баланса между сохранением и воздействием. Достижение устойчивости в сильно населенных карстовых областях является трудной задачей, но, все более и более зеленые проекты инфраструктуры делают возможным движение к более уравновешенному использованию экологических услуг.

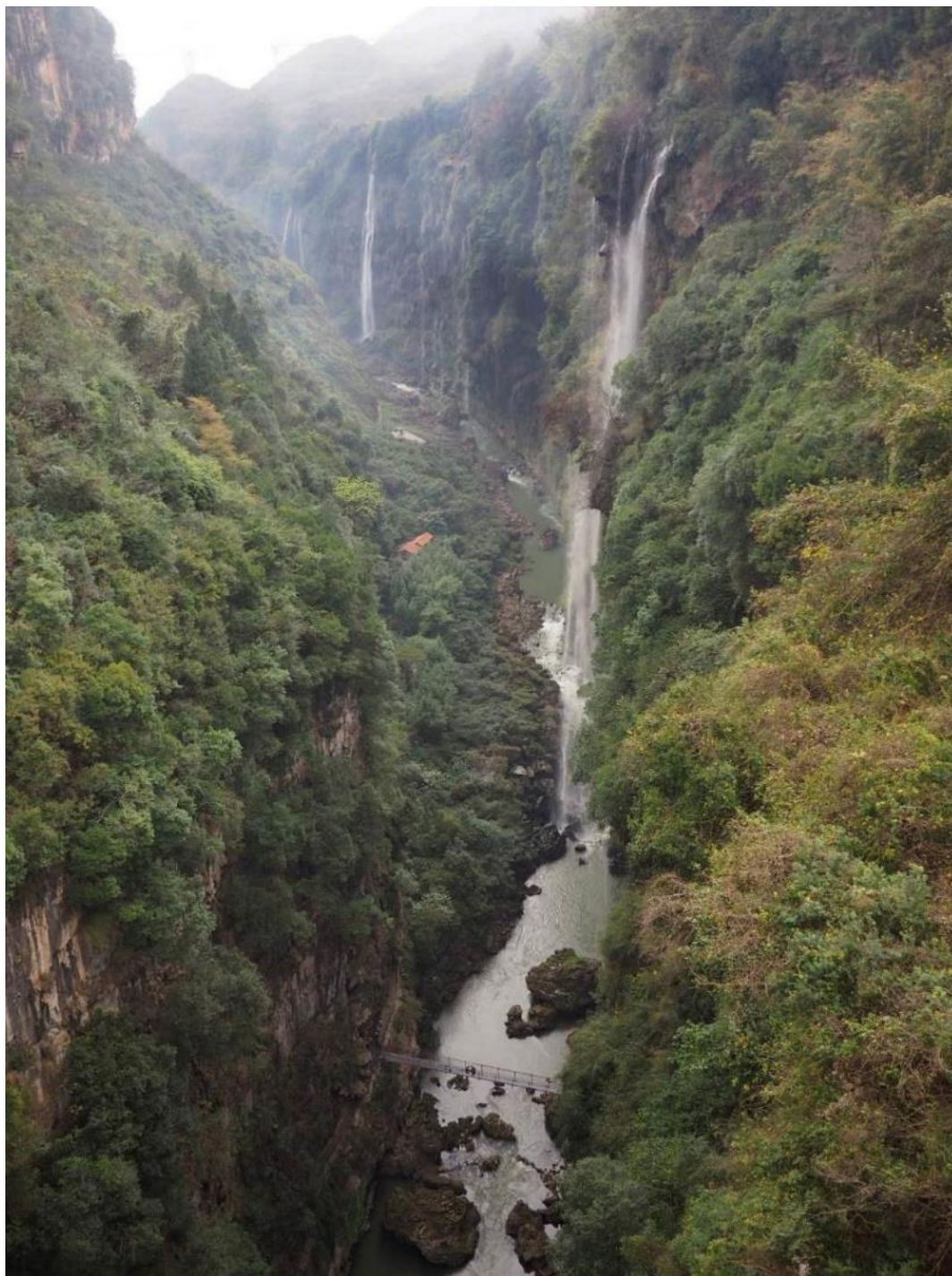
## Рекомендации

- (52) *Все технико-экономические обоснования для строительных проектов в карстовых областях должны включать тщательное изучение запланированного местоположения, детальной экологической экспертизы и размера защитной буферной зоны. Там где имеется возможность отодвинуть проектную или городскую застройку от карстовой области, это может быть экономическим и экологически положительным решением.*
- (53) *Протоколы должны быть подготовлены и применены, чтобы иметь дело с избавлением от атмосферных, жидких и твердых отходов, произведенных во время и после строительства. Это должно относиться ко всей карстовой критической зоне, которая включает атмосферу, почву, эпикарст и верхнюю зону карстовых водоносных горизонтов.*
- (54) *Строительные нормы и правила для карста должны быть применены теми же самыми способами, как для землетрясений или склонных к паводкам областям. Городское зонирование в карстовых областях должно учесть специфику и свойственную хрупкость карстовой окружающей среды.*
- (55) *Сильная, основанная на науке, законодательная структура планирования должна быть осуществлена на местных, региональных и национальных уровнях.*
- (56) *Образовательные инициативы должны быть применены практически, особенно в менее развитых странах, чтобы сообщить землевладельцам или городским обитателям о хрупкой природе карстовых территорий.*
- (57) *В охраняемых областях инфраструктура должна быть сведена к минимуму и, если возможно, располагаться далеко от пещер и карстовых объектов.*
- (58) *Надлежащий план управления охраняемой областью должен тщательно взвесить все за и против сооружения зданий в пределах области, имеющей тенденцию к защите окружающей среды и посетителей вместо того, чтобы обеспечить ненужный комфорт. Нужно препятствовать крупномасштабным проектам инфраструктуры в пещерах, если они не обязательны.*
- (59) *Опасные материалы должны контролироваться с большой заботой и должным образом управляться, чтобы минимизировать сбросы. Лица, принимающие первые меры реагирования на инциденты с опасными материалами, должны быть обучены конкретным методам реагирования на карст.*
- (60) *Опасные материалы, будь это бензин или другие топлива, растворители, сточные воды или другие опасные отходы никогда не должны смываться под землю. Исследование грунтовой воды и процесс исправления являются чрезвычайно трудными и дорогими. До самой большой степени возможности, опасные материалы должны содержаться и удаляться на поверхности. Более детальные исследования потенциального воздействия на окружающую среду должны быть выполнены опытными карстовыми профессионалами.*

## Водоснабжение

Доступ к воде играл главную роль в том, как люди развились в течение времени. Греки, минойцы (Остров Крит), римляне и много других обществ узнали, как иметь дело с карстовыми водными ресурсами, со многими городами, извлекающими выгоду, будучи расположенными близко к карстовым источникам или как источник питьевой воды или для отдыха, таким как теплые источники в Сиракузах в Сицилии, Италия, Ниме (Nimes), Франция и Баф (Bath), Великобритания. В Америках культура майя в значительной степени развилась на карстовом ландшафте, в котором к воде можно было получить доступ только через карстовые провальные воронки, известные в местном масштабе как ценоты. Одна из главных особенностей карстовых ландшафтов – то, что из-за растворимой природы пород поверхностный дренаж редок, и вода стремится течь под землей, иногда доступная через пещеры или, главным образом, часто только в источниках. С другой стороны, присутствие плодородной почвы (известной как *terra rossa* в Средиземноморье) является подходящей для сельского хозяйства. Сельское хозяйство и рост городов привели к широко распространенному использованию источников, как надежных пригодных для питья водных источников во многих частях мира. Карстовые источники эксплуатировались, по крайней мере, с XIX столетия для традиционных отраслей ликерной промышленности, таких как виски бурбон в США и Траппистское пиво в Бельгии.

Основываясь на карте карстовых водоносных горизонтов мира (WOKAM), считалось, что 15,2% глобальной свободной ото льда поверхности континентов характеризуется присутствием подверженных карстованию карбонатных пород. На 2020 г. было около 1,2 миллиарда человек (16,5% глобального населения), живущих в карстовых областях, и около 700 миллионов человек потребляли воду. Эта пропорция, вероятно, увеличится, представляя угрозу устойчивому использованию карстовых водоносных горизонтов. Технические решения обычно требуются для эффективного карстового водопроводного снабжения, включая буровые скважины и водохранилища. До 1986 г. более чем 17000 дамб были построены на карсте во всем мире (исключая Китай), но многие испытали существенную утечку или никогда не заполнялись полностью. Эти ранние технические повреждения привели к широко распространенной вере, что разработка в карсте должна «ожидать неожиданное». Помимо увеличения населения, эффекты изменения климата, вероятно, усилят зависимость людей от карстовой воды, особенно в некоторых из более плотно населенных карстовых областей в Азии, Ближнем Востоке, Европе и Севере и Центральной Америке.



*Высоко расположенные карстовые источники в Ущелье Малингхе (Malinghe), Область Гуйчжоу, Китай. Фото Джона Гунна (John Gunn).*

На карстовых территориях инфильтрация стремится происходить быстро через карстовые воронки или трещины в коренной породе, хотя в областях с толстой непроницаемой почвой – обычно сформированной на поверхностных отложениях, таких как лёсс или вулканический пепел – озера могут сформироваться во время ливней. В отличие от

других пород, поток грунтовых вод может быть очень быстрым, проходя через каналы или пещеры. Глубина горизонта грунтовых вод изменяется в зависимости от области, и в некоторых областях нет никакой непрерывной поверхности, как имело бы место в водопроницаемых породах. В равнинных прибрежных областях, таких как во Флориде, или в Юкатане, Мексика, грунтовые воды могут находиться только на нескольких метрах под землей, делая к ним относительно легкий доступ. Однако, в горных карстовых областях обычно имеется несколько сотен метров вадозной зоны, предотвращающей свободный доступ к грунтовым водам и требующей изобретательных решений.

Чрезмерная эксплуатация карстовых вод происходит во многих областях мира, приводя к пониженным уровням воды. У этого есть серьезные последствия для водных экосистем в карсте, так как источники и пещерные реки могут пересохнуть. Понижение на нескольких десятков метров наблюдалось во многих карстовых областях из-за скважин, как для внутреннего водоснабжения, так и для отраслей промышленности. Чрезмерная откачка карстовых грунтовых вод может быть точечным источником, как в случае шахт и карьеров, которые требуют больших осушающих схем для работы, но более часто понижение горизонта грунтовых вод происходит через объединенный объем воды, откачанной из нескольких скважин, как для городского потребления, так и для ирригации. Пещеры и пустоты ниже горизонта грунтовых вод (в фреатической зоне) частично сохраняют устойчивость из-за поддержки, осуществляемой водой. Обрушение может произойти, если эта поддержка была быстро удалена из-за чрезмерной откачки. Дальнейшее воздействие, связанное с пониженным уровнем воды происходит, когда контакт между почвой и карстовой основой (известный как эпикарстовая зона) расположен выше горизонта грунтовых вод. Это приводит к гравитационному внедрению почвы в увеличенные трещины, производя нестабильные пустоты в почве. Обрушение этих пустот ответственно за обрушение карстовых воронок, частых в карстовых областях, подвергшихся интенсивному осушению. Чрезмерная откачка пресноводных ресурсов в пустынях, на островах или в прибрежных карстовых областях может также привести к вторжению морской воды. Оставленные или ненадлежащим образом построенные или поддержанные водные скважины могут также быть каналами для входа под землю поверхностного загрязнения и способствовать загрязнению грунтовых вод.

Наводнения происходят в некоторых карстовых областях, обычно связанных с урбанизацией. Непроницаемые поверхности, покрывающие грунт в большинстве городов, означают, что естественное просачивание сильно уменьшено, будучи сосредоточенным в нескольких структурах стока, которые дренируются к горизонту грунтовых вод. Объем стекающей воды иногда вне возможностей этих систем, проявляющийся в широко распространенных наводнениях, как часто происходит в урбанизированных карстовых областях Кентукки. Наводнения, вероятно, увеличиваются из-за чрезвычайных влажных событий, связанных с изменением климата, предлагая дополнительные вызовы карстовым областям, так как искусственных структуры стока, как и пещерные каналы, оказываются не в состоянии справиться с большими объемами воды. Воронки могут также затопливаться не из-за воды, текущей в них, а из-за подъема воды снизу, где большие объемы воды отводятся к воронкам на больших высотах и переносятся на меньшие высоты через пещеры и каналы.

За исключением карстовых областей с толстыми поверхностными отложениями, поглощение в карст и течение воды вдоль карстовых каналов обычно на порядки величины быстрее, чем происходит в большинстве систем грунтовых вод. Таким образом, карстовые грунтовые воды ограничиваются естественным истощением и фильтрацией, что означает, что любое сельскохозяйственное загрязнение, такое как нитраты, промышленные или случайные сбросы могут легко достигнуть горизонта грунтовых вод и быстро распространиться на большие расстояния через каналы. Это делает карстовое загрязнение воды очень сложным для оценки и смягчения. Загрязнение может неблагоприятно затронуть экосистему, связанную с карстовыми водоносными горизонтами, угрожая жизни пещеры. Неисправные септические резервуары, или даже полное отсутствие любой надлежащей системы для избавления от человеческих отходов, распространены во многих карстовых областях во всем мире, увеличивая потенциал для загрязнения болезнетворными микроорганизмами. Различные химикаты и все виды мусора могут найти свой путь в карстовые водоносные горизонты. В некоторых областях взгляд, которого обычно придерживаются, «с глаз долой из сердца вон», принудил людей сваливать материал, от которого отказываются, в карстовые воронки и пещеры. Некоторые пещерные реки в городских областях были сильно загрязнены, будучи немного больше, чем «естественные» коллекторы и замечательные усилия по очистке требовались, такие как в пещере Хидден Ривер (Hidden River) в пещере Хорс (Horse) и пещере Лост Ривер (Lost River) в Боулинг Грин (Bowling Green), обе в Кентукки.

Вырубка леса для сельского хозяйства и пастбищ или засухи, усиленные изменением климата, могут удалить защитное покрытие растительности и вызвать эрозию почвы. Это может вызвать закупорку дна карстовых воронок или заболачивание, приводя к наводнению. Дополнительное воздействие – заиливание поверхности и дренажей пещеры, иногда блокируя галереи и вызывая намыв отложений в пещерах. Водосборные районы пещер во всем мире часто ненадлежащим образом управляются, таким образом, приводя к воздействиям на гидрологический цикл. Изменения в использовании земли выше пещер могут вызвать проникновение почвы в маршруты просачивания, воздействуя на цвет и целостность натёков. Это особенно важно для экскурсионных пещер, в которых терригенная седиментация может изменить цвет преобладающе белых пещерных натёков.

Некоторые из экологических ранее упомянутых воздействий происходят благодаря точечным кратковременным эпизодам, таким как случайное пролитие химикатов. Но другие, такие как загрязнение из-за урбанизации или отраслей

промышленности, или из-за чрезмерной откачки, могут иметь место в масштабе лет или десятилетий. Дальнейшее воздействие связано с изменением климата, которое, как это ни парадоксально, может затронуть водный бюджет карстовых областей противоположными способами, усиливая дефицит через засуху или увеличивая потенциал для того, чтобы затопить из-за рекордных осадков. Обе ситуации являются теперь частыми во всем мире. Карстовые области Мексики, Карибов и южной Флориды, например, являются теперь предметом увеличенной частоты ураганов, в то время как области, склонные к засухе, свидетельствуют об уменьшении в разгрузке дренажа пещер. Эффекты изменения климата часто накладываются на другие факторы, которые служат для увеличения их воздействия. У растущих уровней океана из-за изменения климата есть возможность значительного воздействия на карстовые водоносные горизонты, поскольку каналы обеспечивают пути для морской воды для течения внутрь страны, таким образом, увеличивая соленость грунтовых вод.

Кроме того, некоторые карстовые области пересекают международные границы, такие как в Балканах и других частях Европы и Юго-Восточной Азии. Управление карстовыми ресурсами может потребовать, чтобы международное сотрудничество избежало конфликтов по управлению ресурсом вообще и ресурсом грунтовых вод в частности.



*Паводковая вода, разгружающаяся из пещеры Мабл Арч (Marble Arch), Ферманы (Fermanagh), Великобритания, в трансграничном Куилках Лейклетдс (Cuilcagh Lakelands) Глобальном геопарке ЮНЕСКО. Фото Джона Гунна (John Gunn).*

## **Рекомендации**

- (61) *Определите буфера охраны для карстовых водных источников, таких как источники, скважины и пещеры. В этих охраняемых областях протоколы должны быть составлены для сельскохозяйственных действий с надлежащим использованием удобрений и управлением откачкой воды. Несколько схем выполнения зон защиты источников были предложены, но были широко применены только в Европе и США.*
- (62) *Образовательные инициативы должны продвинуть понимание, как землевладельцев, так и обычных граждан относительно специфики карстовой окружающей среды, чтобы избежать неподходящего избавления от твердых санитарных и опасных отходов.*
- (63) *Ясная мониторинговая система должна быть установлена на главных источниках и выбранных скважинах в восприимчивых и высоко используемых системах грунтовых вод в карсте. Продолжительный, удаленный мониторинг с высокой разрешающей способностью теперь возможен на многих источниках, и должен быть шире осуществлен.*
- (64) *Страны должны рассматривать карстовую воду как хрупкий и конечный ресурс, принимая законы для контроля и дисциплинирования извлечения воды, так же как позволять соответствующее финансирование для быстрой реакции в случае загрязнения. В частности, рекомендации относительно надлежащего проекта и выполнения септических резервуаров и местоположения свалок должны быть осуществлены.*



(65) Поскольку немного известно о поведении многих загрязнителей в карстовой окружающей среде, надлежащее финансирование должно быть сделано доступным для продвижения научного понимания этого предмета.

## Управляемый карст в охраняемых областях

### Развитие эффективного мониторинга и уменьшение последствий

#### Принципы мониторинга

Мониторинг – существенный инструмент в управлении и охране пещер и карстовых ресурсов, особенно в естественных охраняемых областях. Мониторинговые индикаторы и измерения отобраны, чтобы предоставить надежную информацию о текущем состоянии пещеры и карстовых ресурсов, которые могут быть сравнены с «базовыми» условиями, которые существовали, когда управление началось, и идеально прежде, чем произошли любые изменения, произведённые человеком. Альтернативно, для участков, таких как экскурсионные пещеры, у которых продолжительная история развития, может существовать возможность использования соседней необорудованной пещеры в качестве «базовой». Кроме того, многие экскурсионные пещеры были закрыты в течение переменных периодов во время пандемии Covid-19 в 2020-2021 гг., и где мониторинг продолжался с использованием автоматических датчиков, данные обеспечивают приближение к естественным условиям. Мониторинг показывает изменения в течение длительного времени в условиях ресурсов, как воздействия, так и исправления, и, таким образом, эффективность действий управления. Результаты продолжающегося мониторинга могут использоваться для информирования управления и смягчения воздействий (адаптивное управление).

Идеально, мониторинговая программа для пещер и карста должна быть всесторонней и включать неживые ресурсы, такие как вода, воздух и почва, и как геологические, так и геоморфологические объекты вместе с биотическими ресурсами, такими как фауна, флора, среды обитания и экосистемы. Однако агентства управления охраняемой областью часто имеют недостаточное финансирование для поддержки такой всесторонней программы оценки. Соответственно, мониторинг усилий должен быть сосредоточен, располагая по приоритетам природные ресурсы, основанные на их ценности или значении, их уязвимости или недолговечности, и серьезности фактических или ожидаемых угроз или воздействий (естественных или от человеческой деятельности). Для пещер важно иметь опись главных объектов, привязанных к карте пещеры (если карта существует), и помощь в идентификации участков мониторинга. Это может быть сделано легче, применяя методы, основанные на GIS. Пещерный мониторинг должен включать область, окружающую пещеру, так как воздействия, прибывающие снаружи, могут затронуть динамику пещерной системы.

Как только ресурсы мониторинга были расположены по приоритетам, должны быть выбраны соответствующие индикаторы для мониторинга. Критерии для выбора индикаторов включают, относятся ли они к важному и научному правдоподобию, выполнимы, имеет низкое влияние измерений и эффективны в затратах. Индикаторы, возможно, должны быть поддержаны значимым экологическим законодательством в случае процессуальных действий. Мониторинг индикаторов и методов должен быть отобран так, чтобы они могли быть с готовностью поняты и выполнены обучаемым штатом везде, где возможно, чтобы минимизировать потребность в экспертизе специалиста или внешней стороны. Вообще лучше мониторить индикатор, который прост и дешев для измерений на многих участках, чем один настолько сложный и дорогой, что это может быть проведено только на одном или двух участках. Измерение испарения из многих открытых чашек Петри в пещере, например, может дать лучшую картину проблем осушения, чем единственный гидротермограф в одном месте.

Мониторинг также требует рассмотрения копирования, частоты и стоимости. Частый мониторинг одного основного индикатора предпочтительнее, чем случайный мониторинг многих индикаторов. Мониторинг основных индикаторов или на ключевых участках должен быть проведен с частотой по мере необходимости, чтобы оценить эффективность управления в уменьшении воздействий. Однако высокой частоты мониторинга в хрупких областях нужно избегать, если это критически не необходимо, потому что это может привести к собственным воздействиям. Автоматизированный мониторинг, если выполним, должен быть в приоритете. Протоколы для контроля каждого индикатора должны быть разработаны.

#### Некоторые лучшие методы в мониторинге

##### Качество и количество воды

Поглощение потока, карстовые воронки, которые обеспечивают точечное поглощение (участки входа) и источники и скважины (участки выхода) должны использоваться как мониторинговые станции качества и количества воды в карстовых областях. Если ресурсы позволяют, непрерывный и основанный на событиях мониторинг должен быть предпринят. Относительно недорогие логгеры данных коммерчески доступны для непрерывных измерений основных параметров, включая глубину воды (которая может быть преобразована в разгрузку, если рейтинговая кривая установлена), температуру, растворённый кислород, электропроводность (заменитель для полностью растворенных

веществ) и мутность (заменитель для взвешенных частиц). Другие параметры, такие как питательные вещества, металлы, углеводороды, органические загрязнители и бактерии, более подходят для основанного на событиях мониторинга, поскольку они обычно требуют специалиста, лабораторий и дороги для измерений. Концентрации являются обычно самыми высокими во время периодов малых потоков, и они могут представлять специфическую угрозу водным организмам, но именно во время ливней и наводнений транспортируется самое большое количество (концентрация, умноженная на разгрузку) большинства загрязнителей и отложений. Более общая оценка условий потоков в пещерах и поверхностных вод может быть получена, контролируя биологические индикаторы такие, как для качества воды, например, число чувствительных видов с низкой терпимостью к загрязнению, таких как водные макробеспозвоночные (насекомые, черви, улитки, ракообразные) или определенные разновидности рыб.

### Условие растительности

Поддержание и улучшение условия местной растительности часто является приоритетом для охраняемых карстовых областей. Мониторинг условий растительности требуется для того, чтобы отследить продвижение к целям управления. Два главных подхода к контролю условий растительности являются методы оценки, поученные на месте или дистанционно. Методы, основанные на месте для измерения леса и углеродного расчета, могут с готовностью использоваться на большом количестве участков, и местные смотрители и арендаторы могут обучаться выполнять их. Дистанционный метод используется все более и более для того, чтобы контролировать условие растительности из-за его преимущества предложения широкого масштаба охвата, автоматизации и повторимости. Это является подходящим для обнаружения изменений в условиях растительности. Многие метрики от экологии растений имеют дистанционные измерения прокси, такие как индекс нормализованного различия красного края (NDRE), который обеспечивает измерение фотосинтетической деятельности. Вторжение кустов может также быть оценено, используя измерения постоянного зеленого покрытия.

### Атмосфера пещеры

Мониторинг климата и атмосферы в туристских пещерах часто достигаются, используя автоматические метеостанции с электронными датчиками и дата логгерами. Мониторинговые станции должны быть расположены на ключевых или чувствительных участках. Индикаторы, которые будут измерены, включают: атмосферное давление, температура, влажность, CO<sub>2</sub>, поток воздуха и испарение. Измерение концентрации радона обычно требуется, как часть туристского здоровья пещеры и режимов безопасности. Цель этих измерений должна состоять в том, чтобы держать атмосферные условия так близко к базовым естественным значениям, насколько это возможно, или позволить быстрое восстановление условий к базовым значениям после посещений.

### Фауна пещеры

Там где имеется существенная пещерная фауна, особенно редкие или эндемичные виды, их присутствие и обилие необходимо мониторить. Индикаторными разновидностями для мониторинга могут быть троглобионты или стигобионты, которые часто являются эндемичными видами и возможно самыми уязвимыми. Однако, виды «краеугольного камня», такие как летучие мыши, саланганы и пещерные сверчки нужно также рассмотреть, как разновидность индикаторов из-за их важности в обеспечении пищи в пещере, от которой зависят другие организмы. Идеально, разновидности краеугольного камня, отобранные как индикаторы, должны быть в изобилии и широко распределенными в пещере (пещерах). Определенные троглобионты, такие как коллембола, могут быть полезными индикаторами питательной неустойчивости в пещерной системе.

### Натёки и отложения

На натёки и отложения пещеры часто непосредственно воздействуют посетители диких пещер, и в экскурсионных пещерах может воздействовать рост лампенлоры. Фотомониторинг – эффективный способ сделать запись условий натёков и показать воздействия. Натёки и отложения должны быть отобраны для фотомониторинга, основанного на их специфическом научном или эстетическом значении или расположения в уязвимом месте, таком как близко к дорожке пещеры. Фотомониторинг привлекает фотографирование отобранных натёков или отложений с неподвижного положения и с неподвижной камерой, и легкими параметрами настройки, так, чтобы фотографии могли точно копироваться и были сравнены в течение длительного времени, чтобы оценить воздействия посетителей. Фотомониторинг должен быть проведен с частотой, соответствующей числам посетителей и их потенциальному воздействию. Интервал мониторинга в один год может быть соответствующим для многих экскурсионных пещер. Новые методы, такие как лазерное сканирование (LIDAR) показывает возможность для использования в мониторинге. LIDAR создает детальное трехмерное изображение пещеры, и это может использоваться как база для обнаружения изменений в натёках или отложениях, и других человеческих изменениях в окружающей среде пещеры. Тот же самый подход может также быть применён на поверхности, используя авиационный (переносимый по воздуху) LIDAR.

### Изменение климата и чрезвычайные события

Эффекты изменения климата уже очевидны и станут сильными для многих карстовых областей. Растущая частота и характер экстремальных явлений, таких как наводнения, засухи и лесные пожары, представляют собой наиболее

сложную тенденцию изменения климата. Мониторинг метеорологических и гидрологических параметров, таких как температура воздуха, осадки, температура пресной воды, разгрузка воды у рек и источников, уровень озера и поднятие грунтовых вод, являются приоритетами для обнаружения и реакции на изменение климата. Постепенные, долгосрочные увеличения температуры воздуха и чрезвычайные температурные события (волны высокой температуры) обычно изолируются и заглушаются в окружающей среде пещер. Напротив, воздействие чрезвычайных гидрологических событий, таких как наводнения и засухи, быстро передаются от поверхности до подземной (пещера) окружающей среды в карстовых гидрологических системах. Мониторинг этих параметров обеспечивает базу для развития системы дальнего обнаружения для чрезвычайных событий, таких как наводнения и пожары. Кроме того, биологические и экологические индикаторы изменения климата могут быть идентифицированы. Примеры включают изменение в выборе времени фенологических событий, таких как взрыв листовых почек и цветение растений, так же как изменения в выборе времени и диапазоне перемещений видов животных, такие как птицы и летучие мыши.

### *Уменьшение последствий*

Там где мониторинг показывает угрозы или воздействия на ключевую пещеру или карстовые ресурсы, действие управления должно быть предпринято, чтобы смягчить дальнейшее повреждение. Для угроз или воздействий от посещения людей существуют различные стратегии, чтобы достигнуть этого, включая ограничение доступа к чувствительным областям (зонирование), сокращение количества и частоты посещений, маркировка привилегированных маршрутов через дикие пещеры, сооружение дорожек с поручнями и требование, чтобы гиды сопровождали посетителей.

Там где повреждение для пещерных ресурсов произошло, хорошее управление требуется, чтобы поврежденные объекты были восстановлены до реальных. Есть множество методов для восстановления галерей пещеры и натёков и для того, чтобы удалить надписи на стенах, корпию и пыль, и лампенфлору (см. Экскурсионные пещеры).

Часто поверхностные действия, такие как карьерные работы, переводятся на подземные воздействия. Восстановление поверхностного карста после карьерных работ может быть дорогостоящим и трудоёмким. Главные реабилитационные действия включают восстановление целостности подземного дренажа, качества воды и биологии пещеры. Вторичная цель должна состоять в том, чтобы сохранить высокую степень связанной вторичной пористости в карьере для эффективного поглощения, и моделировать в максимально возможной степени оригинальный карстовый дренаж и его покрытие растительностью.



*Реабилитированный известняковый карьер после двадцати лет, Тасманской Вилденес (Wilderness) объект всемирного наследия. Во время восстановления карьер был подразделен на многие маленькие закрытые бассейны дренажа, каждый с карстовым поглощением или зоной проникновения как его центр. Каждое поглощение было защищено фильтрующей конструкцией, и области под глиняным чехлом имели дополнительные конструкции, чтобы ограничить движение отложений после дождя. После этого, гидромulчирование и осторожное восстановление растительности будет выполнено. Фото Дэвида Гиллисона (David Gillieson).*

Некоторые основные принципы для реабилитации карста:

- Поддерживать или восстановить естественные системы и процессы до такой степени, насколько это возможно. Если требуется вмешательство, решения, основанные на природе, которые работают в общности с естественными процессами, более экологически жизнеспособны и эффективны, чем технические решения, которые стремятся управлять или остановить естественные процессы. Например, для карстовых систем важна поддержка или восстановление естественных режимов рек, потоков и источников. Также крайне важно восстановить поток просачивающейся воды, и грунтовые воды поглощения, где почва или отложения на карсте были уплотнены.
- Удалить все источники загрязнения, как на поверхности, так и под землей. Это может включать регулирование землепользования и действия вверх по течению от пещер или карстовых областей, выкапывание и удаление загрязненных отложений, смывание загрязненной воды или отложений из пещер, или биологическое восстановление с использованием микроорганизмов или растений. Это – дорогостоящий процесс, и часто часть стоимости должны будут внести правительственные учреждения, ответственные за экологическое управление.
- Контроль активной эрозии почвы и предотвращение проникновения отложений в подземную карстовую систему. Он может включать восстановление растительности, стабилизацию крутых склонов или строительство контурных валов.
- Ограничить интенсивное использование грунтовых вод (иногда в сельскохозяйственных целях) в областях вверх по течению, поскольку это понижает горизонт грунтовых вод и может уменьшить разгрузку подземных рек, затрагивая водную фауну пещер.
- Поощрять активную экосистему почвы. Беспозвоночные, такие как земляные черви, муравьи и термиты эффективны при разрушении органического материала, биотурбационного реголита и улучшении структуры почвы и её питательного статуса.
- Устанавливать устойчивое покрытие растительности, предпочтительно из местных постоянных растений. Постоянная растительность эффективна при управлении эрозией почвы, увеличивает биологическую деятельность почвы и эстетически нравится. Однако, знайте, что растительность также воздействует на концентрацию углекислого газа почвы и использование воды, таким образом, сокращая поглощение. Таким образом, могут быть непреднамеренные воздействия на рост натёков.
- Мониторить изменения наверху и под землей. Успех восстановления может быть измерен регулярным опробованием карстовых вод. Опробование должно быть основано на событии для рассмотрения увеличенного переноса отложений и растворов во время ливней.
- Оставлять участок в покое, если что-то идёт не так, как надо. Есть большое искушение столкнуться с восстановлением, когда процессы происходят медленно. Восстановление растительности должно быть оценено только после минимум двух лет, когда произошли достаточные укоренение и рост. Для многих карстовых областей, особенно там, где биологические процессы ограничены климатом, период для восстановления может быть измерен десятилетиями.

## Рекомендации

- (66) *Мониторинг – существенный инструмент в управлении и охране пещер и карстовых ресурсов, особенно в охраняемых областях. Следствия продолжающегося мониторинга могут использоваться для информирования управления и уменьшения последствий воздействия.*
- (67) *Мониторинг усилий должен быть сосредоточен, располагая по приоритетам природные ресурсы, основанные на их ценности или значении, их уязвимости или недолговечности и серьезности фактических или ожидаемых угроз или воздействий.*
- (68) *Загрязнение грунтовых вод предлагает специальные проблемы в карсте и должно всегда минимизироваться и проверяться. Этот мониторинг должен быть основан на случае, а не просто через регулярные интервалы, поскольку концентрации растворов и химических загрязнителей являются обычно самыми высокими во время низких периодов потока, однако, именно во время ливней и наводнений самое большое количество загрязнителей транспортируется через карстовую систему.*
- (69) *Избегайте высокой частоты мониторинга в хрупких областях, если критически не необходимо, потому что это может произвести собственные воздействия. Автоматизированный контроль, если выполнимо, должен быть приоритетом.*
- (70) *Признавая не возобновляемую природу многих карстовых объектов, особенно в пределах пещер, хорошее управление требует, чтобы поврежденные объекты были восстановлены до реальных.*
- (71) *В максимально возможной степени, естественные системы и процессы в карстовых областях должны быть поддержаны или восстановлены. Если вмешательство требуется, использование основанных на природе*

*решений предпочтительно, особенно тех, которые работают в общности с естественными процессами и более экологически жизнеспособны, чем технические решения.*

## **Планирование управления охраняемой карстовой областью**

Планирование управления охраняемой областью составляет ключевое осуществление в управлении охраняемой областью, помогая определить и достигнуть идеального условия, и гарантируя, что финансовые, человеческие и другие ресурсы охраняемой области используются, обращаясь к проблемам приоритетного управления. Разработка плана управления знаменует собой важную веху в процессе планирования и наращивания потенциала путем привлечения различных государственных учреждений и заинтересованных сторон, имеющих обязанности и интересы в охраняемой зоне и её ближайших окрестностях. Планы управления должны быть сжатыми документами, которые идентифицируют главные объекты или ценности охраняемой области, ясно основывая цели управления, которые будут встречены, и указывая действия, которые будут осуществлены, который гарантирует, что ценности охраняемой области охраняются.

Для управления карстовой системой, чтобы быть соответствующим и эффективным, планирование управления охраняемых карстовых областей должно принять во внимание специальную природу карста по сравнению с другими ландшафтными типами и экосистемами. Это более полно обсуждено в «Специальной природе карстовой окружающей среды и пещерных систем», с несколькими ключевыми пунктами, обрисованными ниже:

- Целостность карста сильно зависит от поддержки естественной гидрологической системы. Таким образом, потребность в полном управлении дренажем жизненно важна для карстовых ландшафтов. Ключевые вопросы в управлении всеми карстовыми областями – защита карстовых воронок или трещинных областей, которые обеспечивают точечное поглощение, и управление качеством воды аллогенных потоков, стекающих в карст. Гидрогеологическая карта – ценный инструмент для управления охраняемой карстовой областью, выдвигающая на первый план водосборные бассейны, важные для управления и охраны.
- Карстовые экосистемы хрупки – поверхностные условия окружающей среды могут быть чрезвычайными (засушливые, известковые), и в тех областях, где нет никаких поверхностных аллогенных отложений, почвы являются типично мелкими, каменистыми и легко разрушаемыми. Подземная экосистема является особенно чувствительной, будучи, прежде всего, зависящей от потоков энергии, передаваемых с поверхности водным путем, качество которой критически важно для выживания.
- Карст необычно сложен, потому что он включает поверхность и подземные объекты и ценности, и объединяет поверхностные и подземные процессы, и физические и биологические. Из-за высокой степени взаимосвязанности карстовых экосистем у прямых воздействий на единичный элемент карстовой экосистемы могут быть серьезные косвенные последствия для других элементов или всей карстовой экосистемы. Таким образом, целостный подход требуется для охраны природных ресурсов и биологического разнообразия в карсте.

## ***Управление охраняемой областью, планируемые шаги (адаптировано из Thomas and Middleton, 2003)***

1. *Фаза предпланирования* – Эта фаза определяет то, что достигнет процесс планирования, как это будет выполнено, выбор времени и бюджетные рассмотрения, и кто будет вовлечен. Рекомендуется использовать междисциплинарный и охватывающий подход для объединения экспертов и заинтересованных сторон, включая местные сообщества, для обсуждения будущего управления охраняемой территорией.
2. *Сбор данных, второстепенные исследования и начальные полевые исследования* – Планирование и управление должны быть основаны на надежных данных. Как первый шаг, соберите существующую и вводную информацию, поскольку исторические данные и местное знание могут быть неоценимыми. Затем, проведите полевую инвентаризацию, обзоры и исследования, которые необходимы для проверки существующей информации, и приобретите любую дополнительную запрошенную информацию. Зарегистрируйте информацию, собранную в форме описания охраняемой области.

Для охраняемой карстовой области руководство для сбора информации предоставлено в следующих главах: «Некоторые ценности карста и пещер», «Специальная природа окружающей среды карста и пещерных систем», «Рекреационная и приключенческая спелеология», «Научное исследование», «Сельское хозяйство и лесоводство», «Водоснабжение» и «Причастность местных народов к карстовому управлению».

3. *Оценка собранной информации* – На этом этапе определяются ключевые объекты и исключительные ценности, которые должны быть защищены и сохранены для поддержания значимости охраняемой территории. Поскольку все большее внимание уделяется вовлечению местного населения и других заинтересованных сторон в процесс планирования, важно иметь механизм, с помощью которого можно определить и описать природные, культурные и социально-экономические ценности, которые они представляют для данного района. Разработка «заявления о значимости» объясняет важность охраняемой территории для общества и помещает охраняемую территорию в её контекст на региональном, национальном и международном уровнях. Ключевые

характеристики, исключительные ценности и заявление о значимости обеспечивают важную основу, на которой должен основываться план управления.

Для охраняемых карстовых областей, руководство при идентификации главных объектов и исключительных ценностей предоставлено в следующих главах: «Некоторые ценности карста и пещер», «Специальная природа окружающей среды карста и пещерных систем», «Рекреационная и приключенческая спелеология», «Научное исследование», «Сельское хозяйство и лесоводство», «Водоснабжение» и «Причастность местных народов к карстовому управлению».

- 4. Определение ограничений, угроз и перспектив* – Прежде, чем определить специфические цели управления для охраняемой области, ограничения на её управление должны быть идентифицированы, как любые главные угрозы ценностям области. Некоторые ограничения – функция естественной окружающей среды, такой как хрупкая и уязвимая природа карстовых экосистем. Угрозы охраняемой области могут быть побуждаемы человеком или естественные, и могут произойти изнутри охраняемой области или из-за её границ. Возможности положительного изменения, исправления или восстановления охраняемой области должны также быть идентифицированы.

Для охраняемых карстовых областей руководство при идентификации ограничений, угроз и перспектив предоставлено в главах: «Некоторые ценности карста и пещер», «Специальная природа окружающей среды карста и пещерных систем», «Рекреационная и приключенческая спелеология», «Научное исследование», «Сельское хозяйство и лесоводство», «Водоснабжение» и «Развитие эффективного миниторинга и уменьшение последствий».

- 5. Развитие управления видения и целей* – Процесс планирования управления должен развить и ясно сформулировать утверждение видения, которое описывает идеальное условие, состояние или внешний вид охраняемой области в будущем. Следуя за видением управления, цели – более определенные утверждения намерений, разметка условий, которых управление стремится достичь. Цели должны коснуться главных объектов охраняемой области, определяя, как они будут сохранены, и к другим важным областям руководства и управления, таким как совместные меры управления, обучение и понимание охраны.

Для охраняемых карстовых областей руководство на видение управления и целей предоставлено в главах: «Некоторые ценности карста и пещер», «Специальная природа окружающей среды карста и пещерных систем», «Шкалы управления в карстовых областях», «Рекреационная и приключенческая спелеология», «Экскурсионные пещеры», «Сельское хозяйство и лесоводство», «Водоснабжение», «Развитие эффективного мониторинга и уменьшение последствий» и «Причастность местных народов к карстовому управлению».

- 6. Идентификация и оценка вариантов управления, включая зонирование* – С целями управления на местах следующий шаг разрабатывается, как цели будут достигнуты. Поскольку часто есть несколько путей, которыми это может быть сделано, диапазон вариантов для действий управления должен быть идентифицирован, и соответствующие диапазоны выбраны. Зонирование – широко используемый инструмент для встречи с целями управления. Зоны идентифицируют области, где различные стратегии для управления и использования лучше всего достигнут целей охраняемой области. Зонирование может использоваться, чтобы обеспечить защиту для критических сред обитания и участков, таких как поглощения потоков, пещеры и источники. Классификация пещер в охраняемой карстовой области для различных уровней защиты и использования – эффективная форма зонирования.

Для охраняемых карстовых областей руководство по вариантам управления предоставлено в главах: «Некоторые ценности карста и пещер», «Специальная природа окружающей среды карста и пещерных систем», «Шкалы управления в карстовых областях», «Рекреационная и приключенческая спелеология», «Экскурсионные пещеры», «Сельское хозяйство и лесоводство», «Водоснабжение», «Развитие эффективного мониторинга и уменьшение последствий» и «Причастность местных народов к карстовому управлению».

- 7. Подготовка предварительного плана управления* – Интеграция всех вышеупомянутых элементов планирования в единственный документ приведёт к предварительному плану управления. Хотя нет стандартизированного формата для планов управления, они имеют тенденцию содержать определенные стандартные элементы. Они начинаются с введения в охраняемую область и обсуждения её важности и факторов, затрагивающих это, ведут читателя через формулировку видения для его будущего управления и конец с выделением действий управления, как это видение будет достигнуто, и как менеджеры и другие оценят эффективность плана к концу его выполнения.

Основной формат для защищённых планов управления областью предоставлен в главе: «Основные элементы плана управления».

- 8. Общественная консультация по предварительному плану управления* – Возможность заинтересованных лиц и широкой публики для рассмотрения предварительного плана управления и обеспечить комментарии – важнейший шаг в процессе планирования управления. Эти группы людей включают местные сообщества, чиновников местного органа власти, представителей неправительственных организаций, коммерческие интересы, пользовательские группы, заинтересованные люди и штат охраняемой области непосредственно. У

этих групп будет смысл собственности и большего обязательства к целям управления и действиям, если у них будет возможность вовлечения в процесс планирования. Уровни участия могут измениться среди различных групп, от того, чтобы быть информированной и обеспеченной обратной связью до активной причастности к совместному управлению охраняемой областью.

Для охраняемых карстовых областей руководство по общественной консультации и причастности сообщества предоставлено в главе: «Причастность местных народов к карстовому управлению».

9. *Исправление предварительного и производство окончательного плана управления* – Этот шаг включает пересмотр предварительного плана управления, принимая во внимание комментарии, полученные от заинтересованных лиц и общественности. Все письменные комментарии, полученные и зарегистрированные на общественных встречах, нужно рассмотреть. Может быть, полезно подготовить сообщение относительно консультаций, чтобы сопровождать заключительный план, который детализирует, как полученные комментарии были приняты во внимание и почему некоторые комментарии не использовались. Это поможет заинтересованным лицам и общественности понять заключительную версию плана и оценить, как включенные действия управления были отобраны.
10. *Одобрение плана управления* – Это процедурный шаг, включающий подачу заключительного плана для одобрения соответствующей властью. Процедуры изменяются от страны к стране, но в большинстве случаев, будет формальный процесс принятия или одобрения дающийся властью плану.
11. *Выполнение плана управления* – План управления излагает действия, которые будут осуществлены, чтобы встретить цели и достигнуть видения для охраняемой области. Во многих случаях план управления обеспечивает основание для того, чтобы он готовил ежегодные эксплуатационные планы относительно охраняемой области. Где совместная система управления находится на местах, план управления должен определить роли и обязанности различных заинтересованных лиц в осуществлении действий управления.

12. *Мониторинг и оценка* – По пути выполнения мониторинг и обзор предоставит петлю обратной связи управлению. Цели этого шага состоят в том, чтобы: 1) идентифицировать, осуществляется ли план управления эффективно, и цели встречаются, 2) учиться из наблюдения за воздействиями управления, и 3) приспособить действия управления, соответственно. Где выполнение сталкивается с проблемами, мониторинг и рецензенты могут использоваться, чтобы повторно развернуть ресурсы и усилием улучшить выполнение.

Для охраняемых карстовых областей руководство при контроле и обзоре предоставлено в «Развитии эффективного контроля и смягчение».

13. *Решение рассмотреть и обновить план управления* – Заключительный шаг в процессе планирования состоит в том, чтобы решить, или рассмотреть, или обновить план управления. Важно гарантировать, что обратная связь от мониторинга и оценки используется, чтобы вести развитие обновленного плана. Рекомендуется, чтобы планы управления обновлялись, по крайней мере, каждые десять лет. Во многих случаях план управления будет ограничен временем в соответствии с законодательством, типично в течение пяти или десяти лет. Идеально, чтобы было принято решение обновить план управления с достаточным количеством времени, чтобы позволить новому плану быть готовым прежде, чем старый план закончится.



Схема процесса управления, используемого в Тасманском Вилдернесс (Wilderness) объекте всемирного наследия, Австралия.

## *Основные элементы плана управления*

*Рабочее резюме* – Оно подводит итог важных элементов плана управления таким способом, которым читатели могут быстро познакомиться с планом, не имея необходимости читать все вспомогательные детали. Это полезно для администраторов высокого уровня, у которых, возможно, нет времени, чтобы прочитать весь документ.

*Введение* – Оно формулирует цель и границы плана, и основание, на котором охраняемая область определялась, ее текущий статус и полномочия для развития плана. Оно может содержать немного основной итоговой информации об охраняемой области, такой как её местоположение, размер, первичные ресурсы и ценности.

*Описание охраняемой области* – Оно подводит итог соответствующей описательной информации о ресурсах в и вокруг охраняемой области, включая:

- 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 особенности, археология и культурные ассоциации.
- Социально-экономические – Демография местных сообществ и их текущее использование природных ресурсов внутри охраняемой области.

*Оценка охраняемой области* – Идентифицирует главные объекты и исключительные ценности, которые должны быть защищены и сохранены, чтобы поддержать значение охраняемой области:

- Выдающиеся примеры естественных, культурных, научных и региональных ценностей, включая существенные 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 землей.
- Области и ресурсы, жизненно важные для местных сообществ, и экономически, и культурно.
- Области, существенные для того, чтобы защитить целостность охраняемой области в целом, такие как поглощения потоков, источники и районы охвата обслуживанием вверх по течению охраняемой области.

*Анализ ограничений, угроз и возможностей* – Анализ ограничений, угроз и возможностей, затрагивающих охраняемую область, её сохранение и управление. Любые текущие или предыдущие воздействия на главные объекты и ценности области должны быть выявлены, наряду с любыми другими анализами управления.

- Ограничения – такие как управление водосборными площадями вверх по течению от границы охраняемой области.
- Угрозы – такие как незаконная охота или сбор редких или местных животных и растений, ломка или воровство натёков или минералов пещер, грабёж 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 восстановление ухудшенных сред обитания и естественных процессов.

*Видение и цели* – Артикуляция утверждения видения, которое описывает идеальное состояние или условие охраняемой области в будущем. Оно сопровождается рядом целей, которые являются определенным выделением утверждений, что должно быть достигнуто управлением в период плана. Цели должны коснуться главных объектов охраняемой области, определяя, как они будут сохранены, и к другим важным областям руководства и управления, таким как совместные меры управления, обучение и понимание сохранения.

*План зонирования* – План зонирования с картами может быть подготовлен для иллюстрации границ, классификации и управления, так же как действий, позволенных или запрещенных для каждой зоны. У многих охраняемых областей есть полностью охраняемая зона для сохранения природы, зоны использования посетителями для ключевых достопримечательностей, таких как пещеры и сценические точки зрения, и контролируемая зона использования для устойчивого накопления природных ресурсов местными сообществами. Зонирование может использоваться, чтобы обеспечить защиту для критических сред обитания и участков, таких как поглощения потоков, пещеры и источники, и для восстановления и реставрации ухудшенных областей. Классификация пещер в охраняемой карстовой области для различных уровней охраны и использования демонстрирует эффективную форму зонирования. Зонирование может

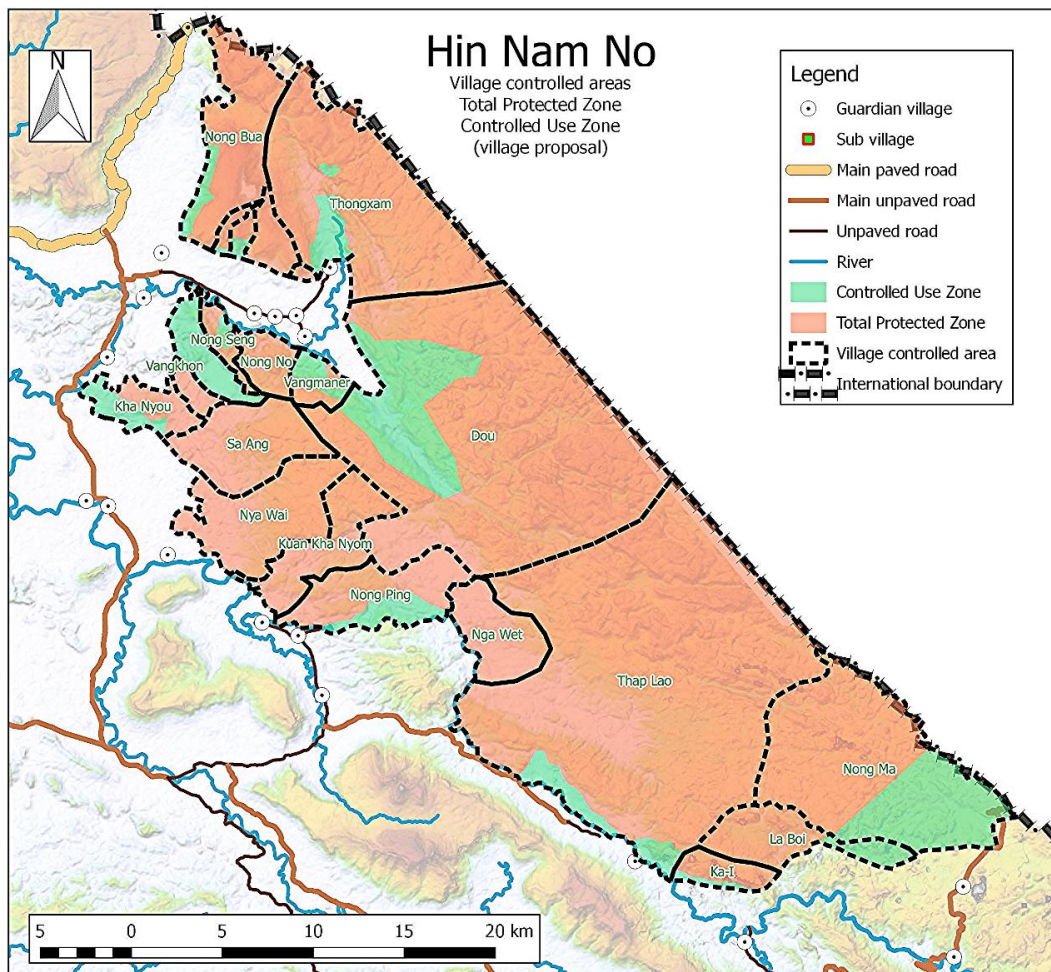


использоваться внутри пещер с различными галереями, имеющими разные уровни защиты и доступа, в зависимости от уязвимости ресурса и опасностей.

*Действия управления* – Определенные действия, которые будут выполнены, чтобы достигнуть целей, с определением приоритетных действий, и роли и обязанности различных заинтересованных лиц. Детали могут быть предоставлены в отдельном ежегодном эксплуатационном плане. Отдельные планы управления могут быть составлены для некоторых действий или участков, таких как экскурсионных пещер или приключенческих пещер, или для управления изменением климата и его воздействиями. У этих планов поддержки могут быть те же самые основные элементы как этот пример. Действия управления могут включать:

- Управление био- и георазнообразием.
- Управление водосборным бассейном.
- Культурное управление.
- Восстановление ухудшенных ресурсов.
- Управление посетителями и связанной инфраструктурой.
- Понимание сохранения и его распространение в школах.
- Мониторинг.
- Научное изучение.
- Исследование и съемка пещер.
- Патрулирование и проведение законов в жизнь.
- Системы дальнего обнаружения, ответ на бедствия и спасение.
- Развитие деревенских средств к существованию.
- Обучение и администрация.

*Мониторинг и обзор* – Этот раздел в общих чертах обрисовывает, как выполнение плана управления будет проверено, и когда и как будет выполнен обзор плана. Он должен включать индикаторы, по которым будет измерена работа охраняемой области. Контроль усилий должен быть сосредоточен, располагая по приоритетам природные ресурсы, основанные на их ценности или значениям, их уязвимости или недолговечности и серьезности фактических или ожидаемых угроз или воздействий.



Зонирование в целях управления на карте, Национальный парк Хин Нам Но (Hin Nam No), Лаос. Карта Ронни Доббелстейн (Ronny Dobbelsteijn).

## Причастность местных народов к карстовому управлению

Исторически, охраняемые области установленные и управляемые государственными органами, были первичным механизмом для сохранения карстовых ресурсов мира. Однако опыт показал, что конфликты обычно возникают между теми, кто живет в или близко к охраняемой области и агентствами, которым задают работу управления этими областями. Там где большая часть или вся земля в охраняемой области принадлежит государству или государственным органам, возможна большая степень контроля над использованием земли, но там где земля находится в частной собственности, это может быть более трудным. В развитом мире местные сообщества обычно вовлекаются в процесс принятия решений, такой как через избранных представителей в местном масштабе на правлениях управления или через местные консультации по спорным проблемам. В этом отношении, есть немного различий между охраняемыми областями, которые содержат карст и пещеры и областями, которые охраняются за другие ценности. Однако в течение XXI столетия увеличилось беспокойство об управлении областями, где есть существенное число местных народов.

Причастность местных народов к управлению всемирным наследием – растущий приоритет. С 2005 г. Оперативные Рекомендации всемирного наследия ЮНЕСКО (параграф 40) продвигают «товарищеский подход к назначению, управлению и контролю». Эти рекомендации были пересмотрены и расширены в 2017 г., с активным участием местных народов в управлении всемирным наследием, видны как существенные и приводящие к лучшим методам управления. В 2015 г. Комитет всемирного наследия организовал *Международный Форум Местных Народов на всемирном Наследии*. Цель этого форума состояла в том, чтобы поднять роль Местных сообществ в «идентификации, сохранении и управлении объектами всемирного Наследия» и он проводится каждый год, совпадая с совещанием комитета всемирного наследия. В 2018 г., ЮНЕСКО подтвердило свою *Политику по Привлечению Местных Народов 201EX/6*. Этот важный документ включает роль местных народов в сохранении естественного и культурного наследия, и относится ко всем действиям, поддержанным ЮНЕСКО – не только всемирного наследия. Планирование управления должно, поэтому, принимать во внимание традиционные или местные системы управления, используемые местными народами. Там может существовать название земли, согласно общепринятому закону, которое сохранялось в течение многих столетий. Это может быть формально не признано или даже не желательно национальным правительствам, но по-прежнему существует обязательство действовать, четко помня об этом.

В этой главе мы приведем четыре примера управления охраняемой областью на карсте, которые вовлекли местные народы в планирование и управление с самого начала. Много было изучено из этого, и много всё ещё остается неизученным, поскольку отношения развиваются и созревают.

### *Национальный парк Хим Нам Но (Hin Nam No), Лаос: Совместное управление в действии*



*Деревенские гиды с надувной лодкой, используемой для пещерных туров, Национальный парк Хим Нам Но, Лаос. Фото Тэрри Болгер (Terry Bolger).*

Хим Нам Но является охраняемой карстовой областью в центральном Лаосе, для которой готовится номинация природного объекта всемирного наследия. Область содержит полигональный карст, и общая площадь 94000 га. Самая большая в мире речная пещера Ксе Банг Фай (Xe Bang Fai) является важным объектом области и всё больше и больше посещается приключенческими туристами. Однако из-за ограниченных финансовых и людских ресурсов не хватает потенциала и информации для эффективного управления охраняемой территорией и мониторинга в ней. В ответ система совместного управления (со-управление) была установлена для Хим Нам Но, в которой местные сообщества играют активную роль и имеют больше полномочий и обязанностей в управлении природными ресурсами, от которых они зависят. Таким образом, есть общая цель сохранения биологического и геологического разнообразия, так же как смягчение бедности в и вокруг Хим Нам Но.

Имеется 18 деревень «опекунов», окружающих Хим Нам Но, включая около 8000 человек из семи этнических групп. Развитие успешного совместного управления требует, чтобы и деревни опекуны и правительственные учреждения взяли на себя соответствующие и ясно определенные роли и обязанности за сохранение и защиту.

Пять «строительных блоков» совместной модели управления в Национальном парке Хим Нам Но были идентифицированы и осуществлены:

1. *Оценка управления через общую консультацию* – оценка основания управления была осуществлена на уровнях деревни, района и области. Намерение состояло в том, чтобы зарегистрировать текущий статус руководства и управления Национальным парком Хим Нам Но. Результаты оценки впоследствии привели к согласованным необходимым вмешательствам и стали частью плана совместного управления Хим Нам Но.
2. *Совокупность совместного управления и структуры управления* – должно быть юридическим основанием и основанием политики (национальный уровень) для основания совместной системы управления. Был создан совместный комитет управления Хим Нам Но. Основными заинтересованными сторонами и правообладателями комитета являются деревни-хранители (с обычными правами) и органы управления охраняемыми территориями, а второстепенными заинтересованными сторонами являются заинтересованные (районные) государственные учреждения, такие как правоохранительные органы, сельское хозяйство и туризм.



*Штат охраняемой области и деревенские гиды в Национальном парке Хим Нам Но (Hin Nam No), Лаос. Фото Тэрри Болгер (Terry Bolger).*

3. *Общее зонирование земли, основанное на традиционном знании и общепринятых правах* – национальный парк Хим Нам Но (Hin Nam No) был зонирован на районы для патрулирования каждой деревней опекуном, основываясь на используемых тропах и общепринятых правах деревень. Районы также зонировались как зоны контролируемого использования (CUZ) для устойчивого сбора природных ресурсов деревнями-хранителями на основе районов, традиционно используемых для этой цели. Зоны контролируемого использования включают 14% площади Национального парка Хин Нам Но. Остающиеся 86% территории Хин Нам Но зонированы в полностью охраняемую зону для сохранения природы.
4. *Совместные соглашения управления* – развиты между комитетом совместного управления Хин Нам Но и каждой деревней опекуном, соглашения совместного управления обеспечивают правила для использования природных ресурсов на CUZ и включают разделяющие выгоды меры относительно патрулирования, проведения законов в жизнь и туризма.
5. *Вовлечение местных сельских жителей в действия управления охраняемой областью* – приблизительно 120 деревенским зрителям из 18 деревень опекунов платят за то, чтобы они совершили регулярные поездки в охраняемую область с штатом Национального парка Хин Нам Но, чтобы сделать запись наблюдений дикой природы и угроз, и оказаться вовлеченными в патрулирование для обеспечения законности. Деревенские зрители помогают исследованиям и исследовательским миссиям в национальный парк Хин Нам Но, где их местное знание карста, пещер, леса и следов неопределимо. Имеется около 35 деревенских гидов экотуризма из нескольких деревень опекунов с туристической активностью. Они проводят туры в пещеру Ксе Банг Фай (Xe Bang Fai) и в несколько других пещер, и организуют маршруты по захватывающему карстовому ландшафту национального парка Хин Нам Но.

Стандартные блоки 3, 4 и 5 (выше) являются особенно сильными компонентами совместной системы управления, построенными на существующей традиционной системе управления ресурсом вместо того, чтобы создать новую систему управления, которая подрывает традиционные общепринятые подходы, неосторожно производя конфликт. Эта однородность с обычными системами управления поощряет участие деревень, что жизненно важно в районах с низким государственным потенциалом и бюджетами.

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. Дальнейшая работа над ростом потенциала, выполнением планов управления и адаптивного управления и жизнеспособного финансирования будет обязана поддерживать эту систему совместного управления, и таким образом, защищать и сохранять карстовые ресурсы национального парка Хин Нам Но.



*Посетители на тропе и висячем мосту, которые являются частью карстовой трассы в охраняемой области Фоу Фа Ман (Phou Pha Man), Лаос. Фото Тэрри Болгера (Terry Bolger).*

### *Хайда Гваии (Haida Gwaii), Британская Колумбия, Канада – люди Хайда: шесть этических принципов*

Лесоводство – одно из самых широко распространенных действий использования земли на карсте в Британской Колумбии и является примером того, почему имеется потребность в улучшенном понимании карста. Пещеры были главным центром охраны засаженных деревьями карстовых областей до конца 1990-ых гг., когда Министерство Лесов Британской Колумбии сначала объявило о более системно-основанном подходе к управлению карстом. Теперь широко признано, что любое использование земли или действия развития ресурса, которые происходят на или около карста, требуют рассмотрения воздействий на окружающую среду, на карстовые системы, воздействия на карстовые водоносные горизонты и их водосборные территории, и потенциал для гео-опасностей, связанных с карстом.

Инновационный проект затрагивает традиционных владельцев на Хайда Гваии. Эти континентальные острова, с национальным парком Гваии Хаанас (Gwaii Haanas), лежат на северо-западном побережье Британской Колумбии, на север от Ванкуверского Острова. Есть обширный покрытый хвойными деревьями карст на островах и пещеры с важными научными и культурными ценностями. Лесохозяйственная деятельность имела место с воздействием на целостность карстовых и пещерных ресурсов. Люди Хайда Гваии заняли эти морские земли с незапамятного времени и построили рабочие отношения с правительственными учреждениями на провинциальных и национальных уровнях. Есть ясно изложенное видение использования земли, развитое Советом Старейшин Хайда Гваии. Оно применяется не только к карстовым областям, но и ко всему Хайда Гваии, включая морскую область.

Шесть этик Хайда и значения, на которых построено это видение, упомянуты ниже на Хайда, затем по-русски:

1. *Yahguudang или Yakguudang* – «Уважение». Уважение друг для друга и всех живых существ внедрено в нашей культуре. Мы берем только то, в чём мы нуждаемся, мы благодарим и признаем тех, кто ведет себя соответственно.
2. *Giid tll'juus* – «Мир столь же остер как край ножа». Баланс необходим в наших взаимодействиях с естественным миром. Если мы не осторожны во всем, что мы делаем, мы можем легко достигнуть роковой черты. Наши методы и таковые других должны быть жизнеспособными.
3. *Gina waadluxan gud ad kwaagiida* – «Все зависит от всего остального». Этот принцип сопоставим с интегрированным подходом к управлению.
4. *Isda ad diigii isda* – «Отдача и Получение». Отдача и получение (сотрудничество) являются уважаемой практикой в нашей культуре, существенной в наших взаимодействиях друг с другом и естественным миром. Мы непрерывно благодарим естественный мир за подарки, которые мы получаем.

5. *Gina k'aadang.nga gii uu tl' k'anguudang* – «Поиск Мудрого Совета». Наши старшие учат нас традиционным путем и как работать в гармонии. Как лес, переплетены корни наших людей. Вместе мы рассматриваем новые идеи и информацию в соответствии с нашей культурой, ценностями и законами.
6. *'Laa guu ga kanhllns* – «Ответственность». Мы принимаем, что переданная ответственность (нам) нашими предками управляется и заботится о море и земле. Мы гарантируем, что наше наследие будет передано будущим поколениям.

Эти шесть этических принципов и значений воплощены в рабочем определении основанного на экосистеме управления Хайда:

«Уважение – фундамент управления, основанного на экосистеме. Он признает, что земля, море, воздух и все живые существа, включая человеческое сообщество, связаны и что у нас есть ответственность за поддержку и восстановления баланса и гармонии».

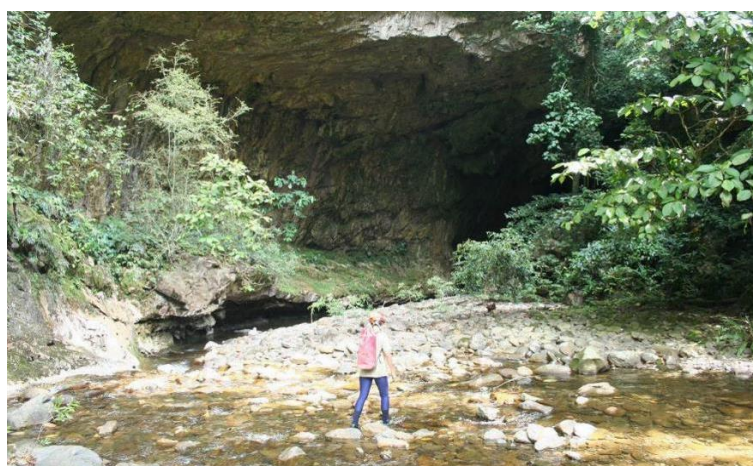
Gwaii Haanas Gina 'Waadluxan KilGuhlGa План Управления людьми, землей и морем, 2018.

Есть резонанс между этими принципами Хайда Гвай и лучшими методами научного управления, как приведено в таблице ниже.

*Сравнение принципов Хайда и научных для управления, основанного на экосистеме. От Совета Нации Хайда, 2007. Земля Хайда использует видение – Хайда Гвай yah'guudang (уважающее Хайда Гвай).*

Принципы Хайда	Параллельные Научные Принципы	Возможные приложения
Уважение	Предупредительный подход	Учитывать благополучие всех видов; предотвращать расточительную практику рыболовства, например, перелов
Баланс	Жизнеспособное использование в течение долгого срока	Гарантировать жизнеспособное рыболовство; обсуждение экологической и социально-экономической информации
Взаимосвязи (все зависит от всего остального)	Интегрированное управление	Связь с плановыми решениями использования земли; рассмотрение совместимости морских действий и кумулятивное воздействие событий
Отдача и получение (взаимодействие)	Равноправное разделение	Цените в планировании врожденную ценность всех живых существ; развейте справедливые и равноправные подходы к разделению ограниченных ресурсов
Поиск мудрого совета	Адаптивное управление Лучшая информация	Использование традиционного знания; улучшите понимание через исследование, образование и мониторинг
Ответственность	Включение и объединение	Уважение титула и прав Хайда; обеспечить достаточный правоприменительный потенциал

*Гунунг Мулу (Gunung Mulu) WNA, Саравак – Пенан и народы Бераван (Berawan): понимание через образование и обучение*



*Местный Смотритель Парка у верхнего входа в Пещеру Деер (Deer), Мулу. Фото Джона Ганна (John Gunn).*

Карст Гунунг Мулу (Gunung Mulu) северного Саравака включает несколько из самых протяженных пещер в Юго-Восточной Азии. Мулу расположен приблизительно в 100 км к востоку от прибрежного города Мири (Miri). Маленький город Мулу достижим ежедневными воздушными услугами и может также быть достигнут лодками вверх по рекам Барам (Baram) и Тутох (Tutoh). Национальный парк Гунунг Мулу имеет площадь 90000 га, и большая часть посетителей концентрируется на самом южном карсте, доступном от штаба парка, смежного с городом. Более 90% парка остаются непосещаемыми и находятся в нетронутом состоянии. Национальный парк Гунунг Мулу был предметом экспедиции Королевского Географического Общества в 1978 г., и общество впоследствии написало план управления для парка в 1982 г. Затем последовал новый план управления на период 1992-1995 гг., и последующие оценки привели к номинации всемирного наследия. Парк был зарегистрирован в Списке всемирного наследия в ноябре 2000 г., и впоследствии стал одним из наиболее символических национальных парков в Юго-Восточной Азии и моделью для устойчивого развития, которое можно было применить в других местах. Фирма туристического курорта Борсармулу (Borsarmulu Sdn. Bhd.) была озадачена проектированием стратегического плана управления и участвовала в формальном соглашении с правительством для управления и развития Мулу как образцового парка и витрины для Саравака и Малайзии. С 2001 г. интерес к туризму быстро рос, так же как международный профиль туризма. С этим пришла ответственность передать знания Мулу посетителям, «действительно понять важность», как читается слоган национального парка Гунунг Мулу.

Одно из ключевых требований для продолжения статуса всемирного Наследия – потребность предоставить правильную, точную с научной точки зрения информацию посетителям и облегчить исследования. Вместе с тем потребность привлечь местное сообщество и обеспечить существенные возможности в области трудоустройства в этой отдаленной области. Согласно принципам всемирного наследия и плану управления, местные жители должны обучаться как гиды и переводчики. У местных народов уже есть понимание леса и удивительные навыки, но языковые неудобства и нехватка образования преобладают, также как заинтересованность наукой. Управление национальным парком Гунунг Мулу установило схему обучения новых гидов и переподготовку имеющихся гидов. Этот курс представлен в модулях, покрывающих аспекты карста и пещер, так же как леса, полностью охраняемых областей и связанных постановлений, биологического и геологического разнообразия. Есть специальная секция, имеющая дело с обращениями клиентов и представлением туров, как в экскурсионной пещере, так и в классе приключений. Курс основной традиционной первой помощи – обычно часть обучения.

Национальный парк Гунунг Мулу нуждается в местном сообществе, и сообщество нуждается в парке. Основанный на этом взаимодействии Мулу может быть расценен как история успеха, но это требует постоянной работы. В 2021 г. фирмы Мулу использовали 97% местных жителей в качестве своей рабочей силы. Эти задачи развития сообщества встречаются с раннего возраста в местной школе, начальной Бату Бунган (Batu Bungan), где у чиновника по образованию и исследованию, назначенного Мулу, есть привилегия работать с местными детьми. Для национального парка Гунунг Мулу школа – точка соприкосновения, где все местные жители различных этнических принадлежностей разделяют общую цель – дети. Национальный парк Гунунг Мулу расценивает это как весьма практический способ поднять понимание и интерес для будущих поколений гидов и других рабочих парка.

Национальный парк Гунунг Мулу предоставляет услуги гида, как для мягких, так и для более экстремальных впечатлений. В настоящее время Парк обслуживается 70 зарегистрированными гидами. Только двадцать из этих гидов наняты непосредственно. Остальное число – гиды агентств или туроператоров, так же как любезность внештатных гидов. Это означает, что значительная часть гидов, действующих в Национальном парке Гунунг Мулу, не находится на платежной ведомости парка и не находится под юрисдикцией Борсармулу (Borsarmulu), который часто проводит сложные операции. Эти внештатные гиды могут посещать дополнительные сессии обучения гидов и делать так эпизодически.



Местные гиды, везущие посетителей к Сунгей Лансам (Sungei Lansat), Национальный парк Гунунг Мулу. Фото Джона Ганна (John Gunn).

### *Охраняемый заповедник Йопно-Урува-Сом, Папуа-Новая Гвинея: жизнеспособное использование ресурсов*

Заповедник Йопно-Урува-Сом (Yopno-Uruwa-Som или YUS) расположен в гряде Сарувагед (Saruwaged) в области Моробе (Mogobe) Папуа-Новой Гвинеи (PNG). Эти высокие горы (более 3500 м нум) содержат обширные карстовые области, развитые на переслаивающихся известняках и аргиллитах. Имеются многочисленные пещеры, называемые макна (*takna*) на местных языках Юпна (Yupna) и Нунган (Nungan). Пещеры имеют ритуальное значение, они так же используются как ночные убежища и участки охоты на летучих мышей. Сельские сообщества в PNG живут, прежде всего, натуральным хозяйством, полагаясь на свои природные ресурсы и плодородную почву, как их предки делали в течение нескольких поколений перед ними. Однако, местные руководители YUS заметили беспоконные вызовы, никогда не испытываемые предыдущими поколениями: важные ресурсы становятся недостаточными.

"Наши охотники должны были уходить на 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 на нашей традиционной земле, чтобы накормить наши семьи"

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

Более 90% земли Папуа-Новой Гвинеи принадлежат коренным жителям, таким образом, местная поддержка сообщества жизненно важна для защиты ландшафта YUS. Больше десятилетия Программа Охраны Три Кангару (Tree Kangaroo) работала с деревнями для устойчивого управления этим ландшафтом и ресурсами, от которых зависят люди и дикая природа. Чтобы облегчить это, Карау Куна (Karaui Kuna) развил Планы Использования земли Сообщества (LUP) с 50 деревнями, чтобы гарантировать согласие по использованию ресурса, которое и принимает во внимание благосостояние людей и их приоритеты охраны.

YUS SA опубликованный в 2009 г. покрывает 76000 га земли и состоит из участков земли, которые были выделены местными владельцами и кланами для области охраны биологического разнообразия. Заповедник был ранее частью традиционных охотничьих угодий, которые принадлежат пяти языковым группам. Выделенная земля находится всё ещё под общественной собственностью, но заготовка леса и охота теперь технически незаконны согласно закону (1978 г.) о Сохранении PNG. Первичный лес – доминирующая экосистема в ландшафте YUS, покрывает 70% территории заповедника. Леса являются доминирующими от уровня моря до 3100 м нум, а выше расположены альпийские луга. Леса – критическая среда обитания для древесных кенгуру Матчи, вымирающего вида, и других древесных сумчатых, так же как райских птиц. Эти тропические леса – также важный углеродный склад. Другие типы покрытия земель в YUS включают часто выжженные антропогенные луга, нарушенные и вторичные леса, и смесь сменного и более интенсивного сельского хозяйства, незначительное количество кофейных плантаций, плантаций какао и небольшие делянки агролесоводства.

Проект YUS стремится сохранить лесной углерод, местное биологическое разнообразие и экосистемные службы, так же как принести пользу местным сельским сообществам, обеспечивая потоки дохода от жизнеспособных действий, которые оказывают низкое влияние на традиционные образы жизни. Объединение моделей устойчивого развития, у которых есть многократные цели, является главным вызовом в планировании использования земли. В начале облегченными



семинарами управляли на всех территориях кланов, чтобы нанять местных владельцев и узнать их стремления к YUS CA. Зонирование YUS CA в строгий заповедник и зоны производства многократного и деревенского использования 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 смотрители охраны и чиновники образования. Небольшие кофейные плантации были учреждены с лесоводческим обучением, предоставленным находящимся в США Справедливым Торговым маркетингом кофе. Эта компания также управляет обработкой и маркетингом кофе YUS под брендом древесного кенгуру. Делянки агролесоводства были основаны на антропогенных лугах, чтобы увеличить доступные ресурсы древесины для сельских жителей. Другие инициативы улучшили доступ к школам и обеспечили здравоохранение в области, обе проблемы, установленные на семинарах.



*Долина Урува (Uruwa) в Заповеднике Йопно-Урува-Сом, вид из полевого лагеря Васаунон (Wasaunon). Альпийские луга на карте лежат выше горного леса, с неровной нижней границей до очищенных областей вокруг деревень. Фото Дэвида Гуллиесона (David Gillieson).*

Главная инициатива, финансируемая немецким банком развития KfW Bankengruppe, оценка запасов углерода, используя методологию REDD+ (см. интернет-Ресурсы) через различные типы покрытия земли в YUS. Эти оценки дополнили картирование растительности, используя дистанционные методы и полевые съемки на территории. Этот проект оценил представительные запасы углерода путем опробования первичных лесов в широком экологическом диапазоне. Проектная команда также измерила запасы углерода во вторичном лесу, небольших плантациях кофе, огородах под паром и антропогенных полях, чтобы сообщить будущему управлению использования земли для увеличенного удаления углерода. Поскольку методология REDD + подчеркивает вовлечение местного населения в разработку, управление и мониторинг проектов компенсации выбросов углерода, команда разработала учебный модуль, направленный на вовлечение местного населения во все оценки выбросов углерода в качестве оплачиваемой работы. Коллекция данных наземной биомассы и мониторинг запасов лесного углерода местными жителями могли служить для построения базы учета для выбросов углерода и мониторинга лесного углерода в существующих проектах REDD+, так же как предоставить средства к существованию людям, воздерживающимся от эксплуатации леса. Ландшафты, обеспечивающие средства к существованию, такие как садовые поля, системы агролесоводства или плантации, могут поглощать и накапливать значительное количество углерода при рациональном управлении земельными ресурсами. Интеграция методологии и инструментов Инструмента пространственного мониторинга и отчетности (SMART) расширяет возможности комитета по управлению заповедной зоной YUS получать и анализировать данные, собранные рейнджерами YUS во время ежемесячных патрулей, разрабатывать основанные на данных управленческие меры для смягчения угроз и вызовов сохранению, а также выявлять позитивные тенденции в присутствии ключевых видов.



*Сельские жители Заповедника Йопно-Урува-Сом и команда проекта картирования, делающие наземную инвентаризацию выбросов углерода. Фото Дэвида Гуллиесона (David Gillieson).*

## Рекомендации

- (72) Для любой охраняемой области, в которой есть местные народы, должно быть правовое и политическое основание для создания совместной системы управления с местным комитетом управления. Первичными заинтересованными сторонами и правовыми держателями комитета являются местные жители и администрации управления охраняемых областей, вторичными заинтересованными сторонами являются соответствующие правительственные учреждения.
- (73) Для тех карстовых охраняемых областей, в которых есть местные народы, должно быть проведено совместное зонирование земли, основанное на традиционном знании и общепринятых правах. Оно должно в идеале включать контролируемые зоны использования, где некоторые экономические действия осуществляются, и полностью защищённые зоны, где главная цель – сохранение природы.
- (74) Менеджеры парков, в которых есть местные народы, должны развивать соглашения совместного управления с местными сообществами, написанными на соответствующем языке, таким образом, что у каждого сообщества была ясно определенная область для её управления и экономических действий.
- (75) Менеджеры парков, в которых есть местные народы, должны вовлечь местных жителей в действия управления охраняемой областью. Действия смотрителей и сопровождение туристов в маршрутах в пещерах и на карсте обеспечивают существенные возможности в области трудоустройства и могут помочь поддержать местное сообщество. Являются существенными программы обучения смотрителей и гидов естествознанию на языке, вероятно используемом большинством посетителей.
- (76) Ключевое требование для управления лучшими методами – потребность предоставить правильную с научной точки зрения и точную информацию посетителям и способствовать важным исследованиям со слабым воздействием.

## Заключение

Карст и пещеры – очень специальные места, все же часто сильно зависят от широких влияний, для которых доступен очень ограниченный контроль для менеджеров земли, воды, и экологических ресурсов, так же как менеджеров охраняемых областей. Немногими карстовыми областями управляют исключительно для охраны природы, и многие охраняемые области предоставляют свои пещеры и карстовые ландшафты для туризма и отдыха, выполняя важную роль в поддержании общественного образования о карстовых системах и их чувствительности к нарушениям. Некоторые власти также разрешают другие действия с социальной или экономической целью, или эти действия могут происходить в этом месте в качестве исторического прецедента. Эта ситуация требует тщательного рассмотрения, гарантируя, что всеми действиями в пределах и вокруг охраняемой карстовой области управляют способами, которые совместимы с всеобъемлющей целью охраны природы. Власти управления должны идентифицировать карстовые области, не

включённые в пределы охраняемых областей, и дать мнение по охране ценностей этих областей такими средствами, как планирование средств управления, программ общественного образования, соглашений о наследии или использовании земли.

Изменение климата произошло естественно по геологической шкале времени, в пределах которой развивались карстовые системы. Однако человеческое вмешательство теперь быстро изменяет климат способами, которые могут радикально затронуть естественные карстовые процессы. Предписания управления должны быть гибкими, признавать эту реальность и работать для максимизации устойчивости системы. К эффектам событий высокой величины и низкой частоты, таким как наводнения, цунами, пожары и землетрясения, нужно обращаться в стратегиях управления в региональных, местных и определенных для участка масштабах. Эти события становятся более частыми и опережают способность общества справиться с их воздействиями.

Местные факторы определяют особые давления и возможности, которые возникают в каждой карстовой области. Таким образом, эти рекомендации стремятся выдвинуть на первый план варианты, не будучи чрезмерно предписывающими, которые были бы непрактичными в глобальном масштабе. Мы неизбежно сосредотачиваемся на проблемах, которые отличают карст от других типов территорий, в противоположность большему количеству общих аспектов управления, которые относятся ко всем областям, карсту или нечто другому. Нужно подчеркнуть, что эти рекомендации должны всегда применяться в пределах местного контекста. Он будет включать признание местного биологического и геологического разнообразия, плюс чувствительность к социально-экономическим и политическим факторам.

Было отмечено глобальное изменение в основной философии управления природными ресурсами. Предыдущие управления режимом охраны были исключающими и ограничительными, невзирая на общественное мнение. Мы теперьдвигаемся весьма быстро к более просвещённым режимам управления, где хорошие отношения с теми, которые живут в или около уязвимых и ценных областей, замечены как критические, и этими областями управляют, используя принципы адаптивного управления. Вызов менеджерам по пещерам и карсту должен будет охватить новые парадигмы, сохраняя то, что является чрезвычайно не возобновляемыми ресурсами.

Этот отчет и рекомендации будут, мы надеемся, предоставлять менеджерам и планировщикам полезные пособия для сообщества, улучшающие понимания карста и пещерных систем, и поэтому увеличивать возможности обеспечить местное признание и причастность к улучшенной охране и управлению. Рекомендации должны также помочь в подготовке более определенных стратегий или планов управления в национальном, региональном уровне или уровне участка. Вообще, агентства управления должны стремиться развить свою экспертизу и способность для управления карстом.

## Дополнительное чтение

- 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 сайте <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: Oxford University Press.
- 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*. Chichester: Wiley.
- Gillieson D.S. (2021). *Caves: Processes, Development and Management*. 2nd Edition. Oxford: Wiley-Blackwell.
- Gunn J. (ed.). (2004). *The Encyclopedia of Caves and Karst Science*. New York: Taylor and Francis – Routledge.  
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 сайте <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 сайте <https://www.i-s-c-a.org/documents>
- Kresic N. (2013). *Water in Karst*. New York: McGraw Hill.
- Palmer A.N. (2007). *Cave Geology*. Dayton, Ohio: Cave Books.
- Thomas L., Middleton J. (2003). *Guidelines for management planning of protected areas*. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. Доступно на сайте <https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGTS/MGTS11/U5/thomas-middleton-2003-guidelines.pdf>
- Van Beynen P. (ed.) (2011). *Karst Management*. New York: Springer.
- Veni G., DuChene H. (eds.) (2001). *Living with karst: a fragile foundation*. Environmental Awareness Series no. 4, American Geological Institute. Доступно на сайте <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 сайте <http://data.iucn.org/dbtw-wpd/edocs/1997-026.pdf>
- White W.B., Culver D.C., Pipan T. (eds.) (2019). *Encyclopedia of Caves*, 3<sup>rd</sup> edition. Academic Press.
- Williams P.W. (2008). *World Heritage Caves and Karst*. IUCN, Gland, Switzerland. Доступно на сайте <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 сайте <https://press.anu.edu.au/publications/protected-area-governance-and-management>

## Ресурсы Интернета

- Australian Speleological Federation Minimal Impact Caving Codes in 1995, with the latest version (2010) [Кодекс минимального воздействия кейвинга Австралийской спелеологической федерации]. Доступно на сайте <https://www.caves.org.au/administration/codes-and-standards>
- British Cave Science Centre (free data source) [Центр британской пещерной науки]. Доступно на сайте <https://www.cave-science.org.uk/>
- British Caving Association Minimal Impact Caving Guidelines [Рекомендации по минимальному воздействию кейвинга Британской ассоциации кейверов]. Доступно на сайте <https://british-caving.org.uk/our-work/cave-conservation/>
- Canyoning code of conduct. [Кодекс поведения в каньонинге] Доступно на сайте [www.icopro.org/pages/icopro-canyoneer-charter-104.html](http://www.icopro.org/pages/icopro-canyoneer-charter-104.html)
- Cave gates advice [Советы для ворот в пещеры]. Доступно на сайте <https://digital.lib.usf.edu/content/SF/SO/05/10/33/00001/K26-00584-147-166.pdf>
- Climbers Pact [Договор скалолазов]. Доступно на сайте [www.accessfund.org/learn/the-climbers-pact](http://www.accessfund.org/learn/the-climbers-pact)
- Guide on digging to find new caves in protected areas (UK) [Гид по копанью для находки новых пещер на охраняемых территориях]. Доступно на сайте <https://thedca.org.uk/images/dca/publications/leaflets/Cave-Digging.pdf>
- Guidelines for applying protected area management categories [Рекомендации по применению категорий управления охраняемой областью]. Доступно на сайте <https://portals.iucn.org/library/node/30018>
- Information on training for cave instructors (UK) [Информация об обучении пещерных инструкторов]. Доступно на сайте <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 имеет «Кодекс этики для исследования пещер и научных исследований в зарубежных странах». Доступно на сайте <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 IUCN]. Доступно на сайте <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-area-categories>
- Karst Management Handbook for British Columbia [Руководство управления карстом для Британской Колумбии]. Доступно на сайте <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 и процедуры оценки уязвимости карста для Британской Колумбии]. Доступно на сайте [https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/natural-resource-stewardship/nr-laws-policy/risc/karst\\_risc.pdf](https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/natural-resource-stewardship/nr-laws-policy/risc/karst_risc.pdf)
- Minimal Impact Cave Rescue Code [Кодекс минимального воздействия на пещеры при спасработках]. Доступно на сайте <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) имеет «Рекомендации по минимальному воздействию кейвинга», которые регулярно обновляются, последний раз в феврале 2021 г., принимая во

внимание пандемию Ковида]. Доступно на сайте  
<https://caves.org/conservation/cavingcode.shtml>

New Zealand Department of Conservation has a «Caving care code» [Новозеландский департамент охраны имеет «Кодекс заботы при кейвинге»]. Доступно на сайте  
<https://www.doc.govt.nz/parks-and-recreation/things-to-do/caving/caving-care-code/>

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

Tasmanian Cave Access Policy [Тасманская политика доступа в пещеры]. Доступно на сайте  
[www.dpipwe.tas.gov.au/Documents/PWS%20Cave%20Access%20Policy.pdf](http://www.dpipwe.tas.gov.au/Documents/PWS%20Cave%20Access%20Policy.pdf)

United States Fish and Wildlife Service, White-nose Syndrome Response Team [Сервис рыб и дикой природы Соединенных Штатов, Ответственная команда за синдром белого носа]. Доступно на сайте <https://www.whitenosesyndrome.org>

United States Environmental Protection Agency, A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology [Агенство охраны окружающей среды Соединенных Штатов, словарь пещер и карстовой терминологии со специальной ссылкой на экологическую гидрологию карста]. Доступно на сайте  
<https://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p-download-id=36359>

## Научная литература

- Auler A.S., Piló L.B. Caves and mining in Brazil: the dilemma of cave preservation within a mining context // *Hydrogeological and Environmental Investigations in Karst Systems*. (eds. B. Andreo, F. Carrasco, J.J. Durán, P. Jiménez, P. LaMoreaux). Berlin: Springer, 2015. 487–496.
- Auler A.S., Souza T.A.R., Se D.C., Soares G.A. A review and statistical assessment of the criteria for determining cave significance // *Advances in Karst Research: Theory, Fieldwork and Applications* (eds. M. Parise, F. Gabrovsek, G. Kaufmann, and N. Ravbar). Special Publications 466(1). London: Geological Society, 2018. 443–460.
- Bátori Z., Csiky J., Farkas T., *et al.* The conservation value of karst dolines for vascular plants in woodland habitats of Hungary: refugia and climate change // *Int J Speleol* 2014. 43. 15–26.  
<https://doi.org/10.5038/1827-806X.43.1.2>
- British Columbia Ministry of Forests. *Karst management handbook for British Columbia* // British Columbia Ministry of Forests, Research Branch, Victoria, British Columbia, 2003. 81.  
<http://www.for.gov.bc.ca/hfp/publications/00189/Karst-Mgmt-Handbook-web.pdf>
- Benstead J.P., Pringle C.M. Deforestation alters the resource base and biomass of endemic stream insects in eastern Madagascar // *Freshw Biol* 2004. 49, 490–501. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2004.01203.x>
- Burri E., Castiglioni B., Sauro, U. Agriculture, landscape and human impact in some karst areas of Italy // *Int J Speleol* 1999. 28 B. 33–54.
- Cigna A.A. The Problem of Lampenflora in Show Caves // *Journal of the Australasian Cave and Karst Management Association*, 2011. 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. Agriculturally induced impacts // *Karst hydrogeology and human activities: Impacts, Consequences and Implications* (eds. D. Drew and H. Hötzl). IAH International Contributions to Hydrogeology 20. Routledge. 1999. 37–63.
- Daly D., Dassargues A., Drew D., *et al.* Main concepts of the European approach for karst groundwater vulnerability assessment and mapping // *Journal of Hydrogeology*. 2002. 10. 340–345.
- de Koning M., Parr J.W.K., Sengchanthavong S., Phommasane S. Collaborative governance improves management effectiveness of Hin Nam No National Protected Area in central Laos // *Parks* 2016. 22(2). 27–40.
- Doerfliger N., Jeannin P.Y., Zwahlen F. 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* 1999. 39. 165–176.
- Forti P. *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. 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. Nomination of the Gunung Mulu National Park, Sarawak, Malaysia for World Heritage Listing // *Report to UNESCO World Heritage Committee*. Kuching: Sarawak Forestry Department. 1999.
- Gillieson D., *Cave Management*. In *Karst Management* (ed. P. E. van Beynen). New York: Springer. 2011.
- Gillieson D., Clark B. Mulu: The World's Most Spectacular Tropical Karst // *Geomorphological Landscapes of the World* (ed. P. Migon). 2010. Springer. 311–320.
- Gillieson D., Silverman J., Hopkinson R., Quenzer M., Kuna K. *Vegetation mapping for the YUS conservation landscape* // Report for Conservation International and KfW Bank, James Cook University. 2011. Cairns. 35.
- Goldcheider N., Chen Z., Auler A.S., *et al.* Global distribution of carbonate rocks and karst water resources // *Hydrogeology Journal* 2020. 28. 1661–1677.
- Goldscheider N. A holistic approach to groundwater protection and ecosystem services in karst terrains // *AQUA mundi* Am06046., 2012. 117–124.  
<https://groundwaterportal.net/sites/default/files/Holistic%20approach%20-%20groundwater%20ecosystems-%20karst%20terrains.pdf>
- Griffiths P., Ramsey C. Best management practices for palaeontological and archaeological cave resources // *Journal of the Australasian Cave and Karst Management Association*. 2005. 58. 27–31.
- Griffiths P.A., Ramsey C.L. *Assessment of Forest Karst Resources of Haida Gwaii: A Strategic Overview* // Gwaii Forest Society, Project SFM08–2008. 2009.
- Gunn J. Karst groundwater in UNESCO protected areas: a global overview // *Hydrogeology Journal*. 2021. 29(1). 297–314.
- Gunn J., Bailey D., Handley J. *The reclamation of limestone quarries using Landform Replication* // Department of the Environment, Transport and the Regions, HMSO. 1997. London.
- Gunn J., Trudgill S.T. Carbon dioxide production and concentrations in the soil atmosphere: A case study from New Zealand volcanic ash soils // *Catena*. 1982. 9. 81–94.
- Gutiérrez F., Parise M., De Waele J., Jourde H. A review of natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Sciences Reviews*. 2014. 138. 61–88.
- Hamilton-Smith E., McBeath R., Vavryn D. Best Practice in Visitor Management // *Proceedings of the 12th ACKMA Conference, 1997 Waitomo, New Zealand*. 1997. 85–96.
- Hardwick P., Gunn J. The impact of agriculture on limestone caves // *Catena supplement*. 1993. 25. 235–249.
- Hellstrom J., Sniderman K., Drysdale R., *et al.* Speleothem growth intervals reflect New Zealand montane vegetation response to temperature change over the last glacial cycle // *Sci Rep* 2020. 10. 1–10.  
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-58317-8>
- Iván V., Mádl-Szőnyi J. State of the art of karst vulnerability assessment: overview, evaluation and outlook // *Environmental Earth Sciences*. 2017. 76. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-6422-2>
- Jones A., Angileri V., Bampa F., *et al.* *CAPRESE-SOIL: Carbon Preservation and Sequestration in agricultural soils, Options and implications for agricultural production* // Final report – EUR 26516. 2013.  
<https://doi.org/10.2788/77068>
- Kieft T.L., Havlena Z., Veni G. *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. 2021. 14, New Mexico: Carlsbad.



- Liu Z., Dreybrodt W., Liu H. Atmospheric CO<sub>2</sub> sink: Silicate weathering or carbonate weathering? // *Appl Geochemistry*. 2011. 26. S292–S294. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2011.03.085>
- Manidis Roberts Consultants. *Gunung Mulu National Park Integrated Development and Management Plan* // Final Report. Sydney, Manidis Roberts Consultants. 2000.
- Martin-Sanchez P.M., Miller A.Z., Saiz-Jimenez C. 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. 2015. 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. Low impact of sampling speleothems – reconciling scientific study with cave conservation // *International Journal of Speleology*. 2022. 51(1). 1–11. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.51.1.2406>
- McNie P.M., Death R.G. The effect of agriculture on cave-stream invertebrate communities. *Mar Freshw Res*. 2017. 68. 1999–2007. <https://doi.org/10.1071/MF16112>
- Milanovic P. Dams and reservoirs in karst? Keep away or accept the challenges // *Hydrogeology Journal*. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10040-020-02273-0>
- Milanović S., Vasić L. Review: Methodological approaches and research techniques for addressing construction and remediation problems in karst reservoirs. *Hydrogeology Journal*. 2021. 29. 101–122.
- National Resources Conservation Centre. *Conservation Practice Standard*. 2010. <https://nrcc.usda.gov>
- Olarinoye T., Gleeson T., Marx V., *et al.* Global karst springs hydrograph dataset for research and management of the world’s fastest-flowing groundwater // *Sci Data*. 2020. 7. 59. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0346-5>
- Reed E. H. Decomposition and disarticulation of kangaroo carcasses in caves at Naracoorte, South Australia. *Journal of Taphonomy*. 2009. 7. 265–283.
- Simon K.S., Benfield E.F., Macko S.A. Food web structure and the role of epilithic biofilms in cave streams // *Ecology*. 2003. 84. 2395–2406. <https://doi.org/10.1890/02-334>
- Spötl C., Matthey D. Scientific drilling of speleothems – a technical note // *Int J Speleol*. 2012. 41(1). 29–34
- Stevanovic Z. Karst waters in potable water supply: a global scale overview // *Environmental Earth Science*. 2019. 78. 662. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8670-9>
- Tattersall I., Schwartz J.H. *Extinct Humans*. Boulder, CO, Westview Press. 2001.
- Tercafs R. *The protection of the subterranean environment. Conservation principles and management tools*. P.S. Publishers. 2001.
- Thomas L., Middleton J. Guidelines for management planning of protected areas // Gland, Switzerland and Cambridge: IUCN. 2003.
- Titus T., Phillips-Lander C.M., Boston P.J., Judson Wynne J., Kerber L. Planetary Cave Exploration Progresses. 2020. <https://eos.org/science-updates/planetary-cave-exploration-progresses>
- Truebe S. *Cultivating a climate of cave conservation awareness: a synthesis of current speleothem sampling methods and best practice recommendations* // CLIMAS Climate and Society Fellowship Report. 2015. <https://climas.arizona.edu/sites/default/files/pdf2014truebefellowsreport.pdf>
- UNESCO policy on engaging with Indigenous peoples. 2018. Paris: UNESCO. <https://en.unesco.org/indigenous-peoples/policy>
- United States Environmental Protection Agency. *A Lexicon of Cave and Karst Terminology with Special Reference to Environmental Karst Hydrology*. 2002. <https://karstwaters.org/wp-content/uploads/2015/04/lexicon-cave-karst.pdf>

- Urich P.B. Tropical karst management and agricultural development: example from Bohol, Philippines // *Geogr Ann Ser B* 1989. 71B. 95–108. <https://doi.org/10.1080/04353684.1989.11879589>
- Urich P.B. Deforestation and declining irrigation in Southeast Asia: A Philippine case // *Int J Water Resour Dev*. 1996. 12. 49–64. <https://doi.org/10.1080/713672197>
- Urich P.B. Land use in karst terrain: review of impacts of primary activities on temperate karst ecosystems. Science for Conservation 198 (Report). 2002. Wellington: New Zealand Department of Conservation.
- van Beynen P., Townsend K. A disturbance index for karst environments // *Environmental Management*. 2005. 36. 101–116.
- Veni G. A geomorphological strategy for conducting environmental impact assessments in karst areas // *Geomorphology*. 1999. 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. Large trees and natural disturbances drive forest biomass on a 3000 m elevation gradient in Papua New Guinea // *Global Change Biology*. 2017. 23. 4873–4883. <https://doi.org/10.1111/gcb.13741>
- Wang K., Zhang C., Chen H., et al. Karst landscapes of China: patterns, ecosystem processes and services // *Landsc Ecol*. 2019. 23. 4873–4883. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00912-w>
- Watson J., Hamilton-Smith E., Gillieson D., Kiernan K. *Guidelines for Cave and Karst Protection*. Gland, Switzerland: IUCN. 1997.
- Williams P.W. Environmental change and human impacts on karst terrains: An introduction // *Catena supplement*. 1993. 25. 1–20.
- Wood P.J., Gunn J., Rundle S.D. Response of benthic cave invertebrates to organic pollution events // *Aquat. Conserv. Mar Freshw Ecosyst*. 2008. 18. 909–922. <https://doi.org/10.1002/aqc.933>

## Литература на русском языке

- 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. 1984. Москва: ВООП. 50 с.
- Мавлюдов Б.Р., Коврижных Е.В., Голод В.М. Оценка уязвимости и задачи охраны пещер // Проблемы изучения, экологии и охраны пещер. 1987. Киев. 7-8.
- Проблемы экологии и охраны пещер. 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.

## Приложение 1: Карст и пещеры в некарбонатных породах

Карстовый ландшафт включает ряд специальных форм рельефа, включая пещеры, которые являются в основном результатом процессов растворения. Классически, карст был сначала изучен и понят как проявление в карбонатных породах, таких как известняк, доломит и мрамор. Эти породы с готовностью растворяются в кислой воде и производят большинство пещер и карстовых ландшафтов, известных на Земле. Однако процессы растворения могут также работать в нескольких других типах горных пород, если присутствуют адекватные условия. Например, эвапоритовые (гипс и соль) породы более растворимы, чем карбонаты и, таким образом, на них также могут развиваться карстовые ландшафты и пещеры. Различные породы, которые содержат кремнезем, такие как кварциты и песчаники, могут также создавать карстовые ландшафты. Хотя они менее растворимы, растворение в богатых кремнеземом породах работает вместе с другими нехимическими процессами. Климат может играть главную роль в возникновении пещер растворения в этих породах. Гипс и соль настолько растворимы, что они стремятся полностью выветриваться во влажном климате. Таким образом, карстовые ландшафты в этих эвапоритовых породах имеют тенденцию присутствовать, главным образом, в сухой окружающей среде. С другой стороны, кварц более растворим при теплом климате, и самый представительный карст и пещеры образуются в тропиках.

Другие пещеры полностью созданы механическими (эрозионными) процессами, с ограниченной причастностью химических агентов. Так дело обстоит для морских или прибрежных пещер, произведённых воздействием 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 при помощи тектонических процессов (щелевые пещеры). Резюмируя, есть много способов создания пещер и карста, и они ни в коем случае не ограничены только карбонатными породами. Это, таким образом, существенно, чтобы иметь целостное представление, интерпретируя карст и пещеры.

### Пещеры и карст в гипсе

Гипс более разрушим, чем известняк и, таким образом, у него есть возможность для формирования обширных карстовых ландшафтов и пещер. Однако, как порода, гипс менее распространен на поверхности, чем карбонаты и, таким образом, широкомасштабное распространение гипсовых пещер и карста более ограничено. Вообще, из-за его высокой растворимости, гипсовый карст стремится лучше сохраняться в сухом климате. Например, объект всемирного наследия национальный парк Вуд-Баффало (Wood Buffalo) в Канаде содержит международно 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 ограниченные обнажения или их отсутствие, ситуация, известная как «межслоевой карст». Некоторые из самых протяженных пещер в мире, такие 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 карст, во многих отношениях, более хрупки, чем карбонатные. Твердость пород довольно низкая, подразумевая, что она может легко быть повреждена или исписана. Натёки меньше распространены и одинаково хрупки. Поскольку эти пещеры происходят, главным образом, в засушливых зонах, присутствие дренажа ограничено, что приводит к окружающей среде с низкой энергией, которая ограничивает регенерацию воздействий на окружающую среду. Низкая механическая стабильность гипсовых пород проявляется в относительно маленьких галереях пещер. Самые протяженные гипсовые пещеры обычно включают обширные лабиринты, содержащие главным образом небольшие галереи, такие как в пещере Оптимистическая протяженностью 257 км в Украине. 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 карст в соли

Соль – очень растворимая порода, намного больше, чем гипс и известняк, и, таким образом, имеет тенденцию к быстрому уничтожению. Соляные пещеры и карст сохраняются только в очень засушливой окружающей среде. Основные примеры представляют чрезвычайно засушливая пустыня Атакама в Чили, пустынные области горы Седом (Sedom) в Израиле и Куешм (Qeshm) в Иране. Большая часть мнений, выдвинутых для гипсовых пещер, может также быть применена для соли, хотя пещеры имеют тенденцию быть намного меньшими, с самой протяженной пещерой Малхам (Malham) в Израиле около 10 км длиной. Порода довольно мягкая, не может выдержать большие пространства, не разрушаясь, и из-за сухого климата испытывает недостаток в активном дренаже. Соляные поверхности имеют тенденцию быть абразивными, хотя рыхлыми. Соляные натёки часто присутствуют, но очень восприимчивы к повреждениям. Расположение в суровой и вообще отдаленной, малонаселенной окружающей среде способствует охране этих пещер.

В Иране часть соляных пещер Острова (Куэшм) Qeshm, который является Глобальным геопарком ЮНЕСКО, открыты для туризма, также как пещеры, расположенные около Сан Педро (San Pedro) в Атакаме, Чили, хотя не было плана адаптации или управления в последнем случае. Обширные пещеры горы Седом (Sedom) были открыты для туризма приключений и привлекают несколько сотен посетителей в год.



*Соляные кристаллы в пещере, гора Седом (Sedom), Израиль. Фото Райнера Страуба (Rainer Straub).*



*Вид снизу вверх в глубоком колодце, образованном в каменной соли, пещера Колонел, гора Седом (Sedom), Израиль. Фото Райнера Страуба (Rainer Straub).*

### **Пещеры и карст в богатых кремнеземом породах**

Богатые кремнеземом породы, такие как песчаники, кварциты, или даже некоторые магматические породы, такие как граниты, могут быть объектом растворения. В этих породах, в отличие от карбонатов, растворимость увеличивается с ростом температуры и, таким образом, для растворения благоприятен теплый тропический климат. Из-за более низких скоростей растворения необходимо, чтобы процесс образования полостей происходил в течение длительного времени. Древние ландшафты, которые развились при более устойчивых тектонических обстановках, обладают соответствующими условиями для проявления этого типа пещер. Пещеры растворения в богатых кремнеземом 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 старыми (Середина Протерозоя) и химически стойкими, они способны формировать высоко поднятые плато.



*Пещера Ароу Джари (Aroe Jari) в песчаниках в национальном парке Чапада дос Гуимарэс (Chapada dos Guimarães), Бразилия. Фото Сзаба Эгри (Csaba Egri).*

Пещеры в кварцитах и песчаниках протяженностью в несколько километров были картированы и изучены, наибольшие располагаются в объекте всемирного наследия национальном парке Канаима (Canaima) юго-восточной Венесуэлы. В Бразилии эти пещеры находятся в нескольких горных областях в восточной части страны, так же как в областях низменности бассейна Амазонки. Эти пещеры представляют новую область исследования, и много областей остаются перспективными для поиска пещер. Есть обширные районы карста 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 соединенные зерна кварца с или без кремнистой матрицы. Могут также встречаться конгломераты, состоящие из фрагментов богатых кварцем пород, которые цементирует богатая кварцем матрица. Химическое изменение этих пород первоначально разъединяет зерна, процесс, известный как аренизация. В результате коренные породы в этих пещерах становятся очень рыхлыми. В государственном парке Ибитипока (Ibitipoca) в юго-восточной Бразилии частый проход туристов в узких участках в Пещере Бромелес (Bromélias) 2,7 км длиной, как известно, надолго изменил профиль некоторых галерей. Обрушение сводов галерей, также вызванные туристами, неосторожно касающимися нестабильных частей свода пещеры, привел к закрытию этой пещеры для туристов. Очень хрупкая природа стен пещер, кажется, стимулирует вырезать надписи на стенах. В нескольких пещерах в песчаниках имеются интенсивные абразионные граффити.

Пещеры в богатых кремнеземом породах могут быть прибежищем разнообразной троглобионтной фауны; например, есть две разновидности сомов, приспособленных к пещерам в Национальном парке Чапада Диамантина (Chapada 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 ни одна не была в настоящее время должным образом приспособлена к массовому туризму с искусственным освещением и запланированными маршрутами. Планы управления пещерами были одобрены для нескольких пещер, 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 частей пещер. Кварцит и песчаник, будучи обычными породами, имеют ограниченную экономическую ценность. Кроме того, из-за бедных песчаных почв, связанных с этими ландшафтами, и частого высотного местоположения, использование этих территорий людьми вообще редко. Это ограничивает посещение людей и благоприятно для охраны пещер. Из-за живописных видов, присутствия водопадов и легкости присвоения, много таких областей было преобразовано в единицы охраны на национальных, государственных и местных уровнях.



*Зал тысячи колонн в кварцевой пещере Аюаян тепуи (Ayayn tepui) в объекте всемирного наследия национальном парке Канаима (Canaima), Венесуэла. Фото Витторио Гробу (Vittorio Grobu).*

## Пещеры в железных формациях

Пещеры в железных формациях были сначала зарегистрированы в спелеологической литературе в 1960-ых гг., но попали в центр внимания с 2014 г. из-за замечательного расширения железных рудников из-за увеличения мирового потребления. Теперь тысячи пещер были идентифицированы в железных формациях, прежде всего в Бразилии, но также в Австралии и Африке. Хотя они небольшие размерами, редко превосходящие 100 м в длину, пещеры содержат замечательную пещерную фауну, которая населяет не только непосредственно полость, но также и щелевую пористость пород. Сотни новых троглобионтных видов были недавно зарегистрированы.

Оригинальная, неветрелая порода железной формации, известная как Ленточная Железная Формация, включает переслаивающиеся слои кварца и железа. Железо является еще более химически стойким, чем кварц, таким образом, кварц выщелачивается сначала, оставляя железную руду высшего качества. Генезис пещер вовлекает не только химические процессы, но также и сложное взаимодействие геомикробиологических механизмов, в которые железо редуцирующие бактерии преобразовывают нерастворимый Fe (III) в растворимый Fe (II). Поскольку эти пещеры обычно связываются с железными телами высшего качества, они стоят перед экономическим давлением горной промышленности, поскольку обычно нет никаких базовых альтернатив для извлечения железа. Несколько областей железных формаций с пещерами были законно разработаны в Бразилии, приведя к существенной экологической компенсации, связанной с разрушенными пещерами, такими как новые национальные парки, финансирование исследований, публикации. Однако, из-за ограниченного международного распространения этого типа пород, и факта, что большинство железных областей было уже включено в планы горной промышленности, большая часть этой компенсации была применена в пещерах в других породах, оставляя диспропорции в единицах охраны.

В Австралии откровенное разрушение археологического участка, связанного с пещерой в железной формации, привело к сильным общественным протестам. Участок Ущелья Юукан (Juukan) содержал материалы человеческих занятий возрастом 46000 лет назад, но был полностью разрушен добычей. Была очень сильная реакция от Традиционных Владельцев, Пууту Кунти Куррама (Puutu Kuntji Kurrama) и народов Пиникюра (Pinikura), так же как экологических групп. Последующий парламентский запрос выдвинул на первый план несоответствие как государственных, так и федеральных законов о защите наследия. В настоящее время есть другие участки в области под угрозой от одобренных действий горной промышленности согласно этому законодательству.



*Пещера железной формации, Южная гряда Эспинхако (Espinhaço), Бразилия. Фото Люцианы Альт (Luciana Alt) и Виктора Моура (Vitor Moura).*



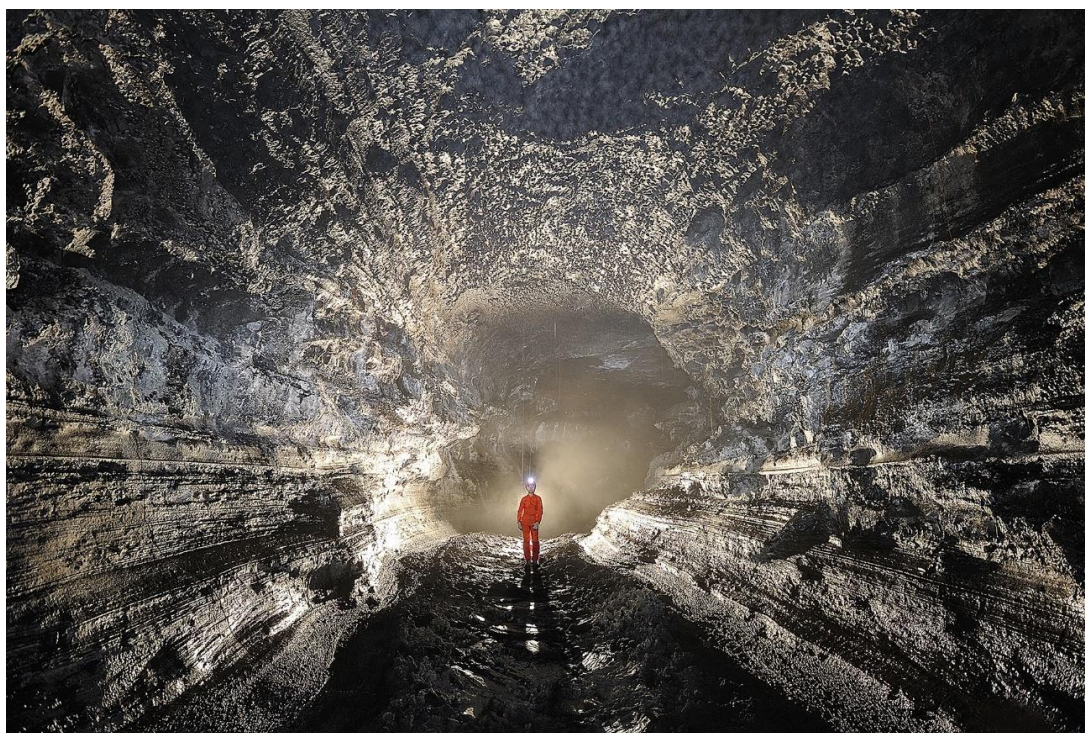
*Пещера железной формации, показывающая канга (canga – конгломераты, богатые железом) в своде и ленточную железную формацию в стенах. Южная гряда Эспинхако (Espinhaço), Бразилия. Фото Люцианы Альт (Luciana Alt) и Виктора Моура (Vitor Moura).*

Пещеры железной формации в значительной степени лишены эффектных натёков, и их внутренняя конфигурация, включая узкие галереи, не делает их привлекательными кандидатами для туризма. Из-за этого они были в значительной степени проигнорированы исследователями пещер для рекреации, хотя их важность была выдвинута на первый план через экологическую консультационную работу. Только несколько таких пещер регулярно посещаются, и ни у одной нет надлежащих планов управления и инфраструктуры. Некоторые были надолго сохранены в Бразилии, вместе с буфером охраны. Многие из этих пещер, однако, расположены в пределах добывающих участков, таким образом, поддержка их неприкосновенности является важной. 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**

Много пещер не показывают преобладание химических процессов в их происхождении, но вместо этого сформированы различными 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 карстовые воронки и карры, обычно отсутствуют. Такие ландшафты иногда объединяются под несколько сомнительным определением «псевдокарста». Однако у этих некарстовых пещер могут быть замечательные научные и эстетические ценности.

Некоторые пещеры могут быть сформированы синхронно с породой, в которую они вмещены. Такое имеет место для лавовых труб, в которых у лавы, текущей под гору после извержения, есть свои внешние пределы на контакте с атмосферой или основанием, которые затвердевают первыми, в то время как внутренняя часть остается жидкой. Как только поступление лавы прекращается, длинная труба, следующая склону, остается. Эти пещеры распространены в активных вулканических областях всего мира, и несколько были приспособлены к туризму. В Ланзароте (Lanzarote), Канарские Острова, Испания, Хамеос де Агуа (Jameos de Agua) является одной такой лавовой трубой, открытой для массового туризма. У лавовых труб есть свойственная геологическая и биологическая ценность, и хотя много таких пещер геологически молоды (вообще с максимальным возрастом нескольких сотен тысяч лет), они были колонизированы и показывают богатую фауну, приспособленную к пещере. Есть лавовые пещеры в одиннадцати Глобальных геопарках ЮНЕСКО и четырех объектах всемирного наследия ЮНЕСКО: Галапагосы, Эквадор; Рапа Нуи (Rapa Nui), Чили; Вулканический Остров Джею (Jeju), Южная Корея; и Гавайский Национальный парк Вулканов, США.



*Слоистость лавы в пещере Казумура (Kazumura), Гавай, 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 Филиппе Крошет (Philippe Crochet).*

Пещеры могут также образоваться в известковом туфе, который иногда называют травертином – хотя этот термин лучше всего сохранить для отложений из термальных вод. Известковый туф и травертин – обе породы, сформированные осаждением карбоната кальция, обычно в или немедленно вниз по течению от источников. Вместе с лавовыми пещерами пещеры в известковом туфе первично сформированы во время отложения породы. Большинство из них имеют только несколько метров в длину и ширину, хотя некоторые более протяженные. В Европе есть, по крайней мере, семь туристических пещер в известковых туфах, самой протяженной является пещера Ольги в Хонау (Honau), Германия (длина 170 м).

Пещеры, открытые, главным образом, тектоникой, представляют расширенные трещины и встречаются 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 на Тибетском Плато и в Гренландии. Эти маленькие пещеры могут представлять большой биологический интерес и содержать древние натёки. Самая глубокая трещинная пещера в мире, пещера Сентенарио (Centenário) в юго-восточной Бразилии, включает глубокие трещины, открытые на поверхность наверху плато, сужаясь до непроходимых размеров на глубине 484 м.



Пещеры, созданные эрозионными процессами обильны всюду в мире и могут произойти в нескольких типах пород. Многочисленные морские или прибрежные пещеры образованы эрозионным действием волн. Превосходные примеры 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 одну из симфоний (Мендельсона). Ветер может сформировать пещеры, особенно в «мягких» породах, таких как песчаник в окружающей среде пустыни. Округлые мелкие впадины различных размеров, известные как тафони (*tafoni*) часто находятся в гранитах, песчаниках и в некоторых метаморфических породах. Они, кажется, произведены комбинацией механических, тектонических и химических процессов. Рытье животных, включая вымерших броненосцев, создало пещеры более 1 км длиной, как наблюдается в бразильском бассейне Амазонки. Эрозия обнажений меандрирующими реками может привести к образованию пещер, как может вода течь в пределах неуплотненных пород или в почвах, что производит короткоживущие и, главным образом, маленькие пещеры. Они известны как трубы и стремятся быть довольно общими чертами, особенно в засушливых зонах. Хорошие примеры связаны с топографией «бедлендов» на американском Западе.



*Морские пещеры в национальном парке Геннаргенту (Gennargentu) на восточном побережье Сардинии, Италия. Фото Ксаба Эгри (Csaba Egri).*

Специфическая группа пещер развивается во льду. Эти ледниковые пещеры формируются, главным образом, посредством таяния и могут находиться внутри льда или располагаться на контакте с ледниковым ложем. Таяние происходит в течение лета, когда эти пещеры имеют тенденцию испытывать более высокие скорости развития. Тепло, необходимое для таяния льда, может приходиться из-за трения между водой и льдом, перехода потенциальной энергии потока в кинетическую или быть из внешних источников, таких как вода, подогретая вулканическими процессами. Ледниковые пещеры могут развиваться быстро, особенно при быстро изменяющемся климате, что случилось из-за антропогенных воздействий. Много ледниковых пещер вместе с ледниками, в которых они расположены, сталкиваются с очень неопределённым будущим. Ледниковые пещеры стали центром для приключенческого туризма в Исландии.

Хаотическое нагромождение упавших блоков, прежде всего находимых в основании гор (или связанных с ледниками), может содержать пещеры осыпей. Это – другой пример происхождения пещер, являющихся синхронными с отложениями, в котором они находятся. Много типов пород могут произвести пещеры осыпей, но они, кажется, больше распространены в магматических породах, подверженных отслаиванию. Пещеры осыпей в Нью-Хэмпшире, США, популярная туристическая достопримечательность. В Австралии пещеры осыпей Черных Гор, около Куктауна (Cooktown) в северном Квинсленде, обширны и содержат существенные поселения летучей мыши. Там, где глубокое выветривание происходит, валунные пещеры могут сформироваться. Они отличаются от пещер осыпей в смысле, что они произведены подповерхностным выветриванием, с основными камнями или валунами, окруженными дресвой или остатками выветривания. Более позднее удаление остатков выветривания (реголит) между валунами, поглощающимися потоками могут 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. Область Галисии северной Испании показывает замечательные валунные пещеры более чем 1 км протяженностью.

Вообще, пещеры в породах кроме карбонатов, менее изучены, хотя они могут быть одинаково важными в геологических и биологических отношениях. Поскольку они часто располагаются в отдаленных областях, обычно меньше размерами и испытывают недостаток в сложной эстетической ценности, предоставленной большими залами, подземными реками и особенно натёками, они намного менее посещаемы и менее подвержены вандализму. Лавовые трубы – исключение в этом, поскольку они хорошо зарегистрированы глобально, на местах важны для туризма и имеют обширную научную литературу, посвященную им.

### Список литературы

- Auler A.S., Parker C.W., Barton H.A., Soare, G.A. Iron Formation caves: Genesis and ecology // *Encyclopedia of Caves* (eds. W. B. White, D. C. Culver, D. C., and T. Pipan). 2019. Academic Press. 559–566.
- Frumkin A. Morphology and development of salt caves // *National Speleological Society Bulletin*. 1994. 56. 82–95.
- Kempe S. Volcanic rock caves // *Encyclopedia of Caves* (eds. W. B. White, D. C. Culver, D. C., and T. Pipan). 2019. Academic Press. 1118–1127.
- Klimchouk A. Gypsum caves // *Encyclopedia of Caves* (eds. W. B. White, D. C. Culver, D. C., and T. Pipan). 2019. Academic Press. 485–495.
- Palmer A.N. *Cave Geology*. 2007. Dayton, Ohio: Cave Books.
- Persoiu A., Lauritzen S.E. (Eds.). *Ice Caves*. 2018. Amsterdam: Elsevier.
- Wray R.A.L., Sauro F. An updated global review of solutional weathering processes and forms in quartz sandstone and quartzites // *Earth Science Reviews*. 2017. 171. 520–557.

## Приложение 2: Полные рекомендации

### Некоторые ценности карста и пещер

- (1) Эффективное планирование для карстовых областей требует полную оценку всех их экономических, научных и человеческих ценностей в пределах местного культурного и политического контекста.
- (2) Менеджеры должны признать, что в карстовых водосборах поверхностные действия приводят к прямому или косвенному подземному воздействию или дальше вниз по течению.
- (3) Хорошее понимание особенностей пещер и их уникальных ценностей является существенным для улучшения управления любой карстовой областью.

### Специальная природа окружающей среды карста и пещерных систем

- (4) Охрана естественных процессов, особенно гидрологических систем, фундаментальна для охраны и управления карстовыми ландшафтами.
- (5) Выдающийся среди карстовых процессов каскад углекислого газа ( $CO_2$ ) от низких концентраций во внешней атмосфере через очень расширенные концентрации в почвенной атмосфере к уменьшенным концентрациям в галереях пещер. Поднятые концентрации углекислого газа почвы – результат дыхания корней растений, микробной деятельности и здоровой фауны беспозвоночных почвы. Этот каскад должен быть поддержан для эффективной действий карстовых процессов растворения.
- (6) Потребность в полном управлении водосборами более жизненно важна для карстовых ландшафтов, чем для многих других литологий.
- (7) Есть теперь относительно немного древних карстовых ландшафтов и те, которые остаются, должны быть сохранены и поддержаны в первую очередь. В других местах, фокус должен быть направлен на исправлении любых негативных воздействий прошлых и настоящих методов управления.

### Масштабы управления в карстовых областях

- (8) Единое предписание управления, приложенное к сложной карстовой гидрологической системе (или комплексной интегрированной пещерной системе) вряд ли соответственно защитит продолжающиеся геоморфологические и экологические процессы в различных частях системы. Планирование управления должно, поэтому, принять во внимание факторы масштаба в карстовой системе.
- (9) Биология большинства пещер в значительной степени зависит от источников пищи, приносимых из поверхностной окружающей среды. Поступление пищи и энергии из внешних источников важно по отношению к выживанию жизнеспособных популяций организмов, и частота и величина поступлений энергии в экосистему пещеры являются существенными к обслуживанию популяций организмов.
- (10) Индивидуальная карстовая гидрологическая система (или пещерная система) могут 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 быть очень чувствительными к загрязнителям грунтовых вод, в то время как другие участки могут быть менее чувствительными. Всестороннее планирование землепользования, поэтому необходимо, чтобы защитить карстовые ресурсы грунтовых вод.

### Рекреационная и приключенческая спелеология

- (12) Реестр пещер желателен как основание для управления. Объекты, особенно интересные в каждой пещере, должны быть идентифицированы на карте.
- (13) Оценка риска желательна и должна покрывать группы пещер, индивидуальные пещеры, или участки в пределах пещеры, как соответствующие месту. Оценка должна покрыть и риск человеческим исследователям и риск, что исследователи приносят в пещеру. Уязвимость каждого типа объекта должна быть оценена, чтобы облегчить идентификацию пещер, или зон в пределах пещер, которые являются подходящими для специфического использования.
- (14) К управлению воздействий спелеологов лучше всего приближаются через стратегический процесс планирования с причастностью заинтересованных лиц. Соответствующий подход, вероятно, потребует комбинации инициатив, из которых политика доступа будет всегда играть ключевую роль.

- (15) Любой инструктор, предлагающий приключенческую спелеологию, должен быть в состоянии обеспечить свидетельство, что он получил адекватное обучение в аспектах безопасности и в охране пещер.
- (16) Все спелеологи, как ожидается, будут знакомы с, и будут следовать спелеологическому коду, минимального воздействия (MISC). Где никакой национальный или региональный MISC не относится к охраняемой области, специальный кодекс должен быть разработан на основе изданных кодексов.
- (17) Копанием, оригинальным исследованием и изучением в пещерах в пределах охраняемых областей нужно управлять через определенные соглашения или требуя пропуска.
- (18) Менеджерам охраняемой области рекомендуют составить план, который может быть осуществлен, если спелеологический несчастный случай произойдет в области. План должен быть составлен с причастностью от региональной или национальной спелеологической организации и государственных органов, ответственных за несчастный случай и чрезвычайные ситуации, и должен включать рекомендации, чтобы минимизировать воздействие спасения на пещеру и на поверхность.
- (19) Полностью неуместно позволить любую форму механизированного транспорта в диких пещерах, и дикие пещеры никогда не должны использоваться для беговых событий или для других типов спортивных событий.

## **Экскурсионные пещеры**

- (20) Существующими экскурсионными пещерами нужно управлять по максимально возможным стандартам и необходимо работать в согласии с Рекомендациями ISCA, так же как рекомендациями, предоставленными здесь.
- (21) Должно быть проведено полное исследование, чтобы определить экологическую и экономическую устойчивость прежде, чем оборудовать пещеру в экскурсионную пещеру.
- (22) Безопасность должна быть приоритетом номер один для каждой экскурсионной пещеры.
- (23) Определение пропускной способности посетителей определенной экскурсионной пещеры является балансом между обеспечением безопасного, информативного и приятного опыта тура пещеры для посетителей и уменьшением воздействия на окружающую среду пещеры, достигая экономических целей. Нужно рассмотреть все три фактора: впечатление посетителя, воздействие на окружающую среду и экономические цели.
- (24) Необходимо иметь план участка, который изображает поверхностные детали, и подземные детали пещеры в порядке анализа потенциального влияния поверхностных работ, которые они могли иметь на пещеру.
- (25) Соответствующая инфраструктура во входе экскурсионной пещеры является существенной для того, чтобы поддержать естественную окружающую среду пещеры.
- (26) При всяком новом оборудовании, или в существующих экскурсионных пещерах или на новых участках, инфраструктура должна быть тщательно оценена, разработана и установлена, беря текущие лучшие методы в рассмотрение.
- (27) Электрическая сеть освещения в пещере должна предпочтительно быть разделена на зоны, таким образом, позволяя освещать эффективно только те части пещеры в настоящее время занимаемые посетителями. Использование света должно быть минимизировано, чтобы только осветить определенные объекты и создать атмосферу, которая увеличивает впечатление посетителей.
- (28) Эффективное управление экскурсионной пещерой должно быть подкреплено мониторингом, чтобы разрешить адаптивное управление участком. Как минимум, основной мониторинг пещеры, фауны, климата и концентраций углекислого газа должен быть выполнен согласно расписанию мониторинга.
- (29) Менеджеры экскурсионной пещеры должны быть компетентными и в управлении бизнесом экскурсионной пещеры и в охране её окружающей среды.
- (30) Гиды в любой экскурсионной пещере играют очень важную роль, как взаимосвязь между пещерой и посетителями. Существенно, чтобы гиды должным образом обучались в ценностях специфической пещеры и в их объяснениях для посетителей.
- (31) Все экскурсионные пещеры должны развить высококачественную объяснительную информацию, чтобы помочь публике лучше понимать и ценить окружающую среду пещер.

## **Приключенческая и туристическая активность на поверхностном карсте**

- (32) Пересеченные и отдаленные поверхностные карстовые среды обитания могут иметь неузнанное биологическое разнообразие и ценности георазнообразия, которые должны быть рассмотрены и оценены,

как часть процесса принятия решений о том, позволить ли приключенческую и туристическую активность на них, при каких условиях и где.

- (33) Инфраструктура, необходимая для поддержания поверхностной карстовой активности, должна быть разработана и установлена таким образом, что она оказывает небольшое влияние на карст, и визуально и в терминах его целостности и, в случае необходимости, может быть с готовностью удалена в будущем, возвращая карст к почти его естественному состоянию.

## Научные исследования

- (34) Все охраняемые области с пещерами и карстом должны развить политику для управления исследованием, которому нужно разрешить только после получения и одобрения заявления.
- (35) Те, которые желают предпринять исследование в пещерах, должны быть в состоянии или продемонстрировать, что они знакомы с окружающей средой пещеры и местным Спелеологическим Кодексом Минимального Воздействия, или что они работают с опытными пещерными учёными, которые гарантируют приверженность кодексу.
- (36) Для тех пещер, которые имеют план управления, должна быть секция по исследовательской активности.
- (37) Для всех исследователей, работающих в пещерах или на карсте внутри или снаружи охраняемых областей рекомендуется тщательно оценить свои предложения, включая сравнение потенциальных выгод с риском повреждения окружающей среды или культурных ценностей.
- (38) Должен быть акцент на минимальных методах опробования для фауны, натёков и отложений, и исследователи должны передать публикацию результатов в форме, легко понятой общественностью, так же как в академических СМИ. Исследователи должны совершить удаление оборудования и восстановление участка (в случае необходимости) по завершении проекта.

## Сельское хозяйство и лесоводство

- (39) У сельскохозяйственной деятельности есть возможность вызвать существенные неблагоприятные воздействия на карстовые геоэкосистемы. Менеджеры охраняемой области должны: (а) обращать особое внимание на любые предложенные изменения в использовании земли, и (б) давать рекомендации о соответствующем типе сельского хозяйства и специфических условиях на территории в порядке минимизации воздействия на количество и качество воды.
- (40) Относительно использования земли, пахотная земля требует, чтобы осторожное управление почвой минимизировало эрозионную потерю и изменение свойств почвы, таких как аэрация, стабильность агрегатов и содержание органического вещества, и поддержание здоровой биоты почвы. Землей пастбища нужно управлять, чтобы поддерживать покрытие растительности, обращая особое внимание на уровень пастбищной нагрузки. Поскольку карстовые воронки обеспечивают пункты поглощения, их нужно оставить в их естественном состоянии, и они никогда не должны быть заполнены или используемы для избавления от отходов.
- (41) Везде, где возможно, буферные зоны должны быть установлены вокруг областей сконцентрированных поглощений, таких как поглощаемые потоки, карстовые воронки или другие естественные отверстия, поскольку они – каналы для движения загрязнителей и загрязняющих агентов в подповерхностную карстовую окружающую среду. На пахотной земле никакое вспахивание не должно быть позволено в буферных зонах, и полное покрытие растительности должно быть поддержано, чтобы отфильтровывать любые отложения в стоке от вспаханной земли. В лесах важно сохранение и потенциальное повышение местной растительности в буферных зонах.
- (42) Относительно количества воды, контроль должен быть ориентирован на количество грунтовой воды, извлекаемой для ирригации. Сбор дождевой воды должен использоваться максимально.
- (43) Относительно качества воды, нужно препятствовать использованию пестицидов и гербицидов, если не абсолютно необходимо, чтобы управлять вредителями и сорняками. Использование удобрений должно быть уменьшено и, где только возможно, естественные удобрения должны использоваться. Буферные зоны вокруг областей сконцентрированных поглотителей, должны уважаться, и внесение химии не должно иметь место в течение времени, когда почвы в или близко к насыщенности и есть риск поверхностного потока, вмывающего химикаты в карст.
- (44) До любой заготовки леса или действий лесоводства на карстовых областях процедура обязана инвентаризировать и нанести на карту область, оценить её чувствительность и/или уязвимость, и развивать подходящие предписания управления. Рассмотрение должно быть дано предшествующему анализу типа и величине действий лесоводства в пределах определенного карстового водосбора, плюс

развивают мониторинг, чтобы гарантировать, как предписания были осуществлены и как хорошо чувствительные карстовые области охранялись.

- (45) Естественные леса, развитые на карстовых ландшафтах, включая зрелые деревья и леса чрезмерно быстрого роста, не должны быть срезанными, вырубленными, или подвергнуты любому антропогенному воздействию. Вместо этого эти леса должны быть строго защищены адекватным управлением охраны, так, чтобы поверхностная и подземная карстовая окружающая среда продолжила пользоваться преимуществами услуг этих экосистем.
- (46) В областях, где местный лес был очищен и заменен другими разновидностями, менеджеры должны запланировать замену неродных разновидностей типом леса, который лучше всего приспособлен к экологическим условиям участка.

## **Добывающая промышленность**

- (47) Должно быть предубеждение против новых шахт или карьеров в карсте охраняемых областей, если нельзя доказать, что нет никакого альтернативного источника для полезных ископаемых, который в дефиците и высокой экономической или стратегической ценности.
- (48) Любое предложение о новой шахте или карьере в карсте должно подлежать детальной экологической экспертизе, которая рассматривает обе особенности в и на границе области, так же как потенциал для отдаленных воздействий через поверхностные воды и карстовые грунтовые воды.
- (49) Экологическая экспертиза должна описать и оценить ценность пещер, карстового рельефа и экосистем. Она должна оценить, есть ли альтернативные участки для разработок, где были бы менее существенные воздействия. Где нет никаких альтернативных участков, тогда должна быть тщательно разработанная буферная зона охраны везде, где возможно, вокруг существенных пещер и карстовых объектов, чтобы защитить целостность экосистемы пещер, так же как непрерывность гидрологических процессов.
- (50) Там, где нет никакой альтернативы разрушению, объекты должны регистрироваться и, где важно, удаляться для научного исследования – то есть, регистрация и удаление натёков и отложений для палео-экологического исследования.
- (51) Там где разработки месторождения разрешены, должна быть хорошо продуманная система охраны окружающей среды, так же как протокол мониторинга, чтобы сделать запись условий во время операции и эффективности системы охраны, таким образом, изменения могут быть сделаны, если нужно. Должен также быть детальный план закрытия, который включает соответствующее восстановление и долгосрочный контроль, включая обязательство, оплаченное заранее, чтобы быть уверенным, что финансирования для закрытия будет доступно.

## **Развитие и инфраструктура**

- (52) Все технико-экономические обоснования для строительных проектов в карстовых областях должны включать тщательное изучение запланированного местоположения, детальной экологической экспертизы и размера защитной буферной зоны. Там где имеется возможность отодвинуть проектную или городскую застройку от карстовой области, это может быть экономическим и экологически положительным решением.
- (53) Протоколы должны быть подготовлены и применены, чтобы иметь дело с избавлением от атмосферных, жидких и твердых отходов, произведенных во время и после строительства. Это должно относиться ко всей карстовой критической зоне, которая включает атмосферу, почву, эпикарст и верхнюю зону карстовых водоносных горизонтов.
- (54) Строительные нормы и правила для карста должны быть применены теми же самыми способами, как для землетрясений или склонных к паводкам областям. Городское зонирование в карстовых областях должно учесть специфику и свойственную хрупкость карстовой окружающей среды.
- (55) Сильная, основанная на науке, законодательная структура планирования должна быть осуществлена на местных, региональных и национальных уровнях.
- (56) Образовательные инициативы должны быть применены практически, особенно в менее развитых странах, чтобы сообщить землевладельцам или городским обитателям о хрупкой природе карстовых территорий.
- (57) В охраняемых областях инфраструктура должна быть сведена к минимуму и, если возможно, располагаться далеко от пещер и карстовых объектов.
- (58) Надлежащий план управления охраняемой областью должен тщательно взвесить все за и против сооружения зданий в пределах области, имеющей тенденцию к защите окружающей среды и посетителей

*вместо того, чтобы обеспечить ненужный комфорт. Нужно препятствовать крупномасштабным проектам инфраструктуры в пещерах, если они не обязательны.*

- (59) Опасные материалы должны контролироваться с большой заботой и должным образом управляться, чтобы минимизировать сбросы. Лица, принимающие первые меры реагирования на инциденты с опасными материалами, должны быть обучены конкретным методам реагирования на карст.*
- (60) Опасные материалы, будь это бензин или другие топлива, растворители, сточные воды или другие опасные отходы никогда не должны смываться под землю. Исследование грунтовой воды и процесс исправления являются чрезвычайно трудными и дорогими. До самой большой степени возможности, опасные материалы должны содержаться и удаляться на поверхности. Более детальные исследования потенциального воздействия на окружающую среду должны быть выполнены опытными карстовыми профессионалами.*

## **Водоснабжение**

- (61) Определите буфера охраны для карстовых водных источников, таких как источники, скважины и пещеры. В этих охраняемых областях протоколы должны быть составлены для сельскохозяйственных действий с надлежащим использованием удобрений и управлением откачкой воды. Несколько схем выполнения зон защиты источников были предложены, но были широко применены только в Европе и США.*
- (62) Образовательные инициативы должны продвинуть понимание, как землевладельцев, так и обычных граждан относительно специфики карстовой окружающей среды, чтобы избежать неподходящего избавления от твердых санитарных и опасных отходов.*
- (63) Ясная мониторинговая система должна быть установлена на главных источниках и выбранных скважинах в восприимчивых и высоко используемых системах грунтовых вод в карсте. Продолжительный, удаленный мониторинг с высокой разрешающей способностью теперь возможен на многих источниках, и должен быть шире осуществлен.*
- (64) Страны должны рассматривать карстовую воду как хрупкий и конечный ресурс, принимая законы для контроля и дисциплинирования извлечения воды, так же как позволять соответствующее финансирование для быстрой реакции в случае загрязнения. В частности, рекомендации относительно надлежащего проекта и выполнения септических резервуаров и местоположения свалок должны быть осуществлены.*
- (65) Поскольку немного известно о поведении многих загрязнителей в карстовой окружающей среде, надлежащее финансирование должно быть сделано доступным для продвижения научного понимания этого предмета.*

## **Развитие эффективного мониторинга и смягчение**

- (66) Мониторинг – существенный инструмент в управлении и охране пещер и карстовых ресурсов, особенно в охраняемых областях. Следствия продолжающегося мониторинга могут использоваться для информирования управления и смягчения воздействия.*
- (67) Мониторинг усилий должен быть сосредоточен, располагая по приоритетам природные ресурсы, основанные на их ценности или значении, их уязвимости или недолговечности и серьезности фактических или ожидаемых угроз или воздействий.*
- (68) Загрязнение грунтовых вод предлагает специальные проблемы в карсте и должно всегда минимизироваться и проверяться. Этот мониторинг должен быть основан на случае, а не просто через регулярные интервалы, поскольку концентрации растворов и химических загрязнителей являются обычно самыми высокими во время низких периодов потока, однако, именно во время ливней и наводнений самое большое количество загрязнителей транспортируется через карстовую систему.*
- (69) Избегайте высокой частоты мониторинга в хрупких областях, если критически не необходимо, потому что это может произвести собственные воздействия. Автоматизированный контроль, если выполнено, должен быть приоритетом.*
- (70) Признавая не возобновляемую природу многих карстовых объектов, особенно в пределах пещер, хорошее управление требует, чтобы поврежденные объекты были восстановлены до реальных.*
- (71) В максимально возможной степени, естественные системы и процессы в карстовых областях должны быть поддержаны или восстановлены. Если вмешательство требуется, использование основанных на природе решений предпочтительно, особенно тех, которые работают в общности с естественными процессами и более экологически жизнеспособны, чем технические решения.*

## Причастность местных народов к карстовому управлению

- (72) Для любой охраняемой области, в которой есть местные народы, должно быть правовое и политическое основание для создания совместной системы управления с местным комитетом управления. Первичными заинтересованными сторонами и правовыми держателями комитета являются местные жители и администрации управления охраняемых областей, вторичными заинтересованными сторонами являются соответствующие правительственные учреждения.
- (73) Для тех карстовых охраняемых областей, в которых есть местные народы, должно быть проведено совместное зонирование земли, основанное на традиционном знании и общепринятых правах. Оно должно в идеале включать контролируемые зоны использования, где некоторые экономические действия осуществляются, и полностью защищённые зоны, где главная цель – сохранение природы.
- (74) Менеджеры парков, в которых есть местные народы, должны развивать соглашения совместного управления с местными сообществами, написанными на соответствующем языке, таким образом, что у каждого сообщества была ясно определенная область для её управления и экономических действий.
- (75) Менеджеры парков, в которых есть местные народы, должны вовлечь местных жителей в действия управления охраняемой областью. Действия смотрителей и сопровождение туристов в маршрутах в пещерах и на карсте обеспечивают существенные возможности в области трудоустройства и могут помочь поддержать местное сообщество. Являются существенными программы обучения смотрителей и гидов естествознанию на языке, вероятно используемом большинством посетителей.
- (76) Ключевое требование для управления лучшими методами – потребность предоставить правильную с научной точки зрения и точную информацию посетителям и способствовать важным исследованиям со слабым воздействием.