

О. С. ГУТАРЕВА, Е. А. КОЗЫРЕВА, Ю. Б. ТРЖЦИНСКИЙ

## КАРСТ В ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ УСЛОВИЯХ НА ЮГЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

*Дана характеристика карстового процесса с его поверхностными и подземными формами в природных и природно-технических геосистемах юга Восточной Сибири. Показаны активность карста и взаимосвязь его с другими экзогенными процессами.*

Ключевые слова: *природные и природно-технические геосистемы, карст, экзогенные геологические процессы.*

*We outline the karst process with its surface and subterranean forms in natural and natural-technical geosystems in southern East Siberia. The activity of karst and its interrelationship with the other exogenous processes are demonstrated.*

Keywords: *natural-and natural-technical geosystems, karst, exogenous geological processes.*

### ВВЕДЕНИЕ

В геологическом строении Восточной Сибири 25 % территории занимают карбонатные породы различного возраста, в которых активно развивается карст. Наиболее интенсивно природный карст проявляется в пределах Ангаро-Ленского плато, Предбайкальского предгорного прогиба, Байкальской горной страны и области Присяянского склона. В настоящее время значительное влияние на активизацию карстового процесса оказывает антропогенный фактор, являющийся ведущим в преобразовании различных природно-технических геосистем, среди которых особое место занимают водохранилища Ангарского каскада ГЭС.

В научной литературе при исследовании верхней части литосферы широко применимо понятие «геосистемы» [1]. В результате применения структурного анализа все изменения, трансформации и новообразования внутри любой организованной и динамичной системы становятся ясными и объяснимыми. Определяется внутренняя структуризация компонентов систем, выявляются определенные закономерности. Геосистемы разделяются на природные и природно-технические (ПТГ). Последние отличаются от природных тем, что в число их элементов входят искусственные объекты (искусственные среды) или существенно измененные человеком естественные объекты [2]. Изучение природных систем помогает понять механизмы реализации карстового процесса, скорости его развития относительно геологического времени.

Сопоставление данных исследований природных и природно-технических геосистем позволяет установить основные современные процессформирующие факторы, влияющие на активизацию унаследованного карстового процесса и приводящие к формированию новых форм проявления и увеличению масштабов пораженности территории. В настоящее время накоплен теоретический материал, дающий представление об элементах геосистем, их взаимосвязях и взаимовлиянии. Научный интерес вызывают парагенетические взаимосвязи экзогенных геологических процессов внутри природно-технических геосистем. Эти взаимосвязи наиболее ярко проявляются в зоне влияния крупных технических объектов, например таких, как Ангарские водохранилища.

### УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ КАРСТА В ПРЕДЕЛАХ ЮГА ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

В результате тектонического развития и движений земной коры на территории Восточной Сибири обособляются структуры, представляющие собой стабильную платформенную область с мощным осадочным чехлом и орогенные области — краевые опускания и зоны поднятия [3]. Согласно этому сформированы классические представления исследователей, которые выделяют на территории юга Восточной Сибири карст платформенной части и горного обрамления (рис. 1).

Платформенный подземный карст обычно развивается в горизонтальном направлении. Карстовые проявления прослеживаются на нескольких ярусах и приурочены к горизонтально залегающим слоям растворимой горной породы. Карст в зонах краевых опусканий, по Г. П. Вологодскому [4], относится к платформенному типу (равнинный карст на сложнорасчлененном субстрате) и при районировании выделяется как район Прибайкальских линейных и гребневидных складок.

Осадочный чехол Сибирской платформы представлен карбонатными породами (известняки и доломиты) кембрия, ордовика, силура, девона и карбона, а также галогенными породами (гипсы,

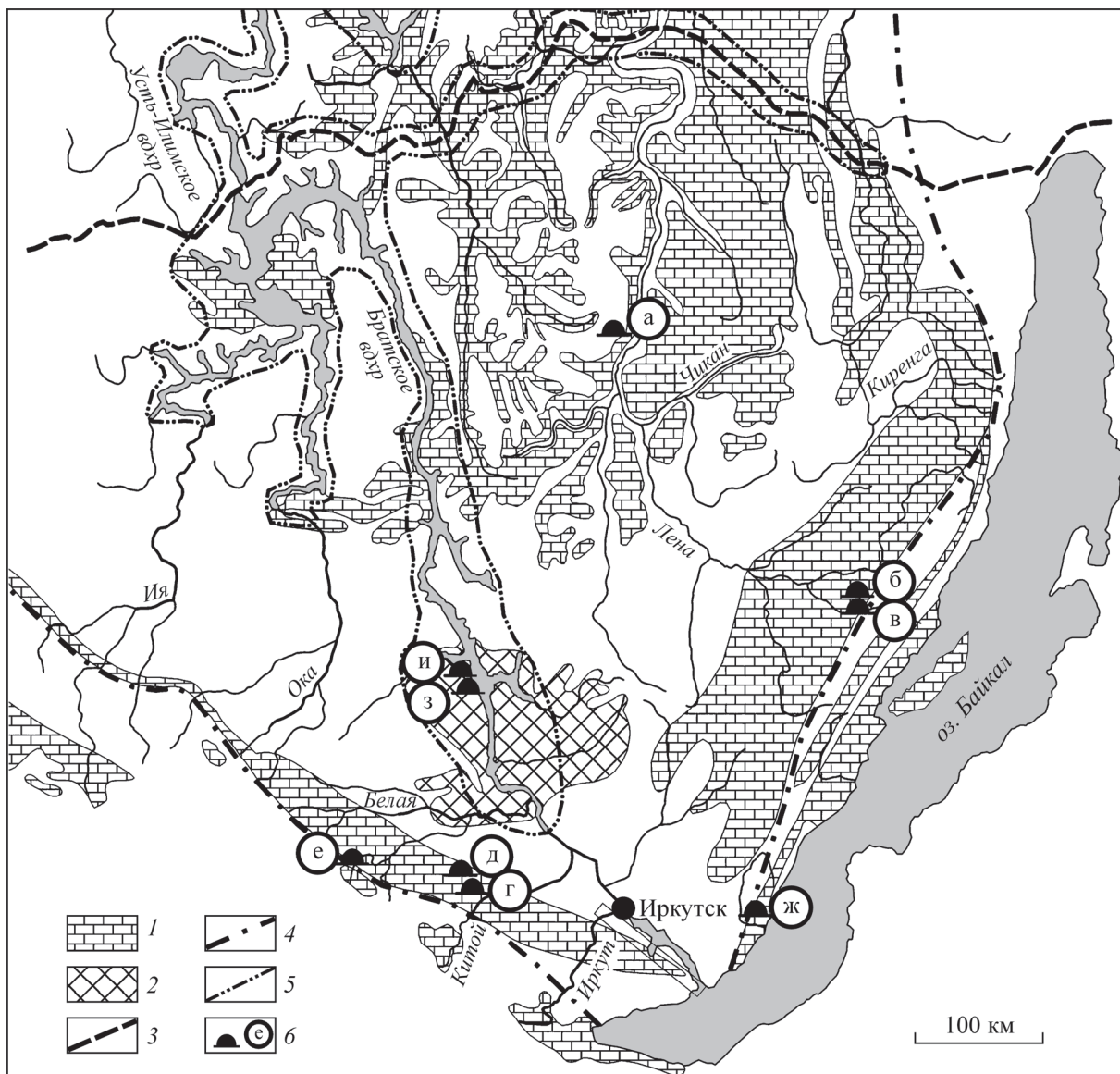


Рис. 1. Схема распространения карбонатных и сульфатных пород на юге Восточной Сибири.

1 — карбонатные породы; 2 — сульфатные породы; 3 — Байкало-Амурская магистраль; 4 — граница платформенной части и горного обрамления; 5 — зоны активизации карстового процесса на участках природно-технических систем; 6 — пещеры, упомянутые в тексте: а — Ботовская, б — Аргараканская, в — Рождественская, г — Козий двор, д — Иконинская, е — Куртуйская, ж — комплекс карстовых форм в долине р. Еловка, з — комплекс карстовых форм зал. Мухар-Желга, и — Балаганская.

ангидриты, соли) кембрия. Общая мощность карстующихся осадочных пород колеблется от 700 до 1600 м. Для Сибирской платформы характерна региональная закономерность — уменьшение степени метаморфизма, литификации и прочности пород от нижележащих структурных этажей к верхним, что отражается на скорости выветривания и растворения пород.

В силу значительной освоенности Иркутского амфитеатра некоторые районы платформенного карста вовлечены в функционирование крупных природно-технических объектов, расположенных на данной территории. Районы с унаследованным развитием карста попали в зоны влияния крупных искусственных водохранилищ, интенсивно эксплуатирующихся линейных сооружений и других объектов антропогенного прессинга. Изменения геологической среды привели к активным проявлениям техногенного карста, изменению динамики процесса растворения и увеличению интенсивности его проявления. В целом платформенному карсту свойственен как природно-техногенный, так и естественно-природный тип современного развития, поскольку значительные площади юга Сибирского региона остались еще не затронутыми цивилизацией.

Горное обрамление Сибирской платформы — Саяно-Байкальская складчатая страна — характеризуется широким развитием метаморфических и изверженных пород. Карст горных областей развит в основном в мраморах, кристаллических известняках и доломитах. Он имеет преимущественно вертикальное распространение, связанное с восходящими движениями орогенов в кайнозойскую эпоху и интенсивным проявлением денудационных процессов. Основные морфологические элементы пещер горных областей — вертикальные или субвертикальные колодцы. Однако протяженность и размеры сибирских форм более скромные (в отличие, например, от карстовых проявлений горных областей Кавказа, Альп, Средней Азии и др.).

Горные области с развитием карста относятся к природным геосистемам и развиваются при участии естественных (природных) процессов и факторов. В силу труднодоступности горных районов, малой заселенности и слабого хозяйственного использования данной территории антропогенное давление проявляется только на локальных участках в виде загрязнения твердым бытовым мусором и отходами жизнедеятельности человека. Значительных перестроек геосистем, влияющих на интенсивность и динамику развития карста, нет, карст горных районов по-прежнему остается унаследованным естественным процессом.

### КАРСТ В ПРИРОДНЫХ ГЕОСИСТЕМАХ

На территории Иркутского амфитеатра встречаются локальные природные геосистемы, развитие которых происходит в естественных, сложившихся за многие тысячелетия природных условиях. Прямое вмешательство человека в геосистему ограничивается единичными моментами или отсутствует. Все элементы системы гармонично взаимодействуют друг с другом, формируя удивительные природные явления.

В природных системах юга Восточной Сибири карст приурочен преимущественно к отложениям карбонатной формации. Основываясь на структурно-геоморфологическом строении территории, остановимся на некоторых природных геосистемах, в которых карст получил наибольшее развитие: Ангаро-Ленском плато, Предбайкальском предгорном прогибе, Приморском хребте и области При-Саянского склона.

Ангаро-Ленское плато представляет собой плоскую возвышенность, имеющую абс. выс. 500–700 м и глубоко расчлененную долинами притоков рек Ангара и Лена. В своей основе плато сложено карбонатными породами кембрия и ордовика и перекрывающими их ордовикскими песчаниками. Вследствие этого поверхностные карстовые формы развиты слабо и представлены мелкими единичными воронками карстово-суффозионного генезиса, а также воронками, рвами и западинами, связанными с гравитационным процессом оползания склонов. Этот же процесс играет роль в образовании пещер по долинам рек Ангара и Илим. Эти пещеры имеют вид узких шахт и щелевидных полостей шириной до 8 м, длиной до 20 м и глубиной до 200 м.

К Ангаро-Ленскому плато относится самая длинная пещера России — Ботовская, известная геологам еще с 1947 г. Благодаря детальным исследованиям последних лет установлена ее современная длина — более 60 км. Ботовская — горизонтальная пещера, приуроченная к пласту водорослевых известняков (нижняя подсвета усть-кутской свиты, видимая мощность до 6–12 м), залегающему в толще песчаников. Этот пласт в виде уступа очень хорошо просматривается в рельефе местности.

В плане пещера представляет собой лабиринт с высокой плотностью ходов, которые заложены в известняковых слоях по системе трещин разного генезиса. В разрезе ходы имеют щелеобразную, куполообразную или округлую формы. Рыхлые отложения представлены глиной и суглинком, для широких ходов характерны грубообломочные отложения, состоящие из плит песчаника и обломков натечков. Почти повсеместно в пещере встречаются хемогенные образования в виде натечных кор на потолках и стенах, сталактитов, сталагмитов, а также озерные отложения и сезонный лед в виде сублимационных кристаллов, ледяных булавонок и ледника на полу в привходовой галерее.

На примере Ботовской пещеры рассмотрим развитие карста и спелеогенез в этом районе. По версии А. Г. Филиппова [5], генезис Ботовской близок к генезису гигантских лабиринтовых пещер Украины. Пещера возникла и развивалась в условиях фреатической гидродинамической зоны (поздний мел–палеоген), т. е. в условиях, когда уровень подземных вод был ближе к поверхности, и пласт, в котором развивается полость, был затоплен. На более поздних этапах развития (с миоцена) условия сменились и приобрели характер аэрации и сезонных колебаний уровня подземных вод (вадозные условия). Причем формирование пещеры происходило в условиях, когда агрессивные воды поступали равномерно во все трещины из нижележащего песчаникового водоносного горизонта, а там, где восходящие потоки смешивались с потоками, текущими латерально, агрессивность воды увеличивалась, и, соответственно, ускорился рост полости.

Карст описываемой территории не ограничивается приповерхностной зоной. Данные бурения на плато, приведенные в работе Г. П. Вологодского [4], показывают, что почти вся толща нижнего кембрия до глубины 1500–1800 м сильно закарстована. Исходя из этого, а также из сложившихся природных условий, можно предполагать о наличии здесь других подземных карстовых полостей.

Карст Предбайкальского предгорного прогиба помимо поверхностных форм представлен также подземными. Одной из самых крупных пещер этого района является Аргараканская. На сегодняшний день ее длина превысила 6 км, а глубина достигает 57 м. Карта пещеры представляет собой сеть галерей, вытянутых на разных уровнях вдоль геологического разлома. Она богата разнообразными натечными образованиями и ледяными формами в привходовой части.

В этом же районе в декабре 2006 г. спелеологами исследовалась пещера Рождественская, которая расположена в 4 км от Аргараканской и открыта группой спелеотуристов в январе 2006 г. Пещера представляет собой полость шириной около 3 м, длиной 10 м, заканчивающуюся ледяной пробкой. Вход в пещеру образован провальной воронкой средним диаметром около 3 м и глубиной 3 м. О существовании за пробкой продолжения говорит цепь воронок, ориентированных в том же направлении, что и известная часть пещеры, а также выходы теплого воздуха из трещин в обнажениях пород, расположенных на одной линии с воронками. Карстовые источники и данные гидрогеологического бурения говорят о существовании на территории Предбайкальского прогиба водоносных карстовых коллекторов.

Многочисленны проявления карста в районе Присаянского склона, особенно по притокам Ангары. Район сложен породами нижнего кембрия и перекрывающими их отложениями юры, а также четвертичным аллювием. Здесь распространены воронки и заполненные каолинами, огнеупорными глинами и другими полезными ископаемыми воронкообразные депрессии палеогенового и неогенового возраста, а также погребенные формы верхнетриасового карста [6].

Один из наиболее ярких примеров карста этой территории — пещера-провал Козий двор, заложенная в кембрийских известняках. Она находится на высоте около 60 м над уровнем р. Китой и представляет собой обвалившийся грот в береговом склоне с фрагментами древних галерей. Провал имеет длину 60 м, ширину 35, высоту стен более 25 м. Самая глубокая пещера Восточной Сибири — Куртуйская (144 м), расположенная в пределах Присаянского склона в долине р. Онот. Это расширенная трещина бортового отпора, образовавшаяся на месте древней карстовой формы. Вход имеет превышение над руслом реки 260 м. Кроме того, в долинах притоков Ангары, таких как Иреть, Белая, Китой, Онот, имеется множество более мелких пещер различного генезиса.

Наиболее примечательным образцом карста Байкальской горной области может служить комплекс форм в долине р. Еловки на Приморском хребте, где распространены известняки рифейского возраста. Карстовые формы расположены цепью вдоль склона и приурочены к простиранью одних и тех же систем трещин. Карстовый мост Е-2 представляет собой останец свода полости, разграничивающий два провала.

Вблизи от моста находятся еще три провала, соединенные подземной полостью, из которой в октябре 2006 г. спелеологами Иркутска был пробит вход в пещеру, получившую название Прима. Заполнение пещеры состоит из кальцитовых натечков разной формы и цвета, а также глины, выстилающей практически все галереи пещеры. Закартированная длина галерей составила 350 м. Примерно в 200 м от Примы находится воронка, в которой расположен вход в пещеру Трудового энтузиазма, заполненную рыхлыми отложениями. Все 19 м ходов пещеры выкопаны спелеологами в разные годы. К этой же системе трещин приурочен грот Дансинг Холл — слепая полость с реликтами небольших ходов в потолке и стенах. Все описанные формы являются уцелевшими останцами единой древней карстовой системы.

Природный карст и его современные формы проявления имеют длительную геологическую историю и стабильную динамику развития. Приведенные примеры локальных природных геосистем демонстрируют устойчивое современное геозекологическое состояние и карстовый процесс, унаследованный от прежних геологических эпох. Кроме того, очевидны уязвимость природных творений и зависимость многих компонентов геосистемы от действий человека при освоении и использовании данной территории.

## КАРСТ В ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ГЕОСИСТЕМАХ

Наиболее крупное техническое сооружение на территории юга Восточной Сибири, оказывающее существенное преобразующее влияние на прилегающие горные массивы, — гидроэнергетический комплекс водохранилищ на Ангаре. В связи с созданием Ангарского каскада ГЭС в зону влияния водохранилищ вовлечены громадные территории. Береговые массивы искусственных водоемов находятся в особых инженерно-геологических условиях, определяющихся общим состоянием геоло-



гической среды, развитием унаследованных и формирующихся вновь экзогенных процессов, а также режимом эксплуатации искусственных водоемов, контролируемым человеком. Состояние природно-технической геосистемы определяется сочетанием природного потенциала данной территории, с одной стороны, и техногенных нагрузок — с другой.

Самый крупный искусственный водоем в Ангарском каскаде ГЭС — Братское водохранилище. По отдельным параметрам оно занимает первые места в мировом списке крупных водохранилищ [7]. В южной части Братского водохранилища широко распространены растворимые породы карбонатной формации — доломиты, известняки, ангидрит-доломиты, гипсы, в которых интенсивно развивается сульфатный карст, что приводит к появлению на дневной поверхности крупных провалов, образованию свежих карстовых воронок, общей просадке территории и др. [8].

Ослабленные карстующиеся породы в настоящее время находятся в зоне переменного водонасыщения и в верхней части зоны полного водонасыщения. В результате наполнения и эксплуатации водоема при переменном обводнении и осушении пород происходит их физико-химическое изменение: доломит-доломитовая мука-пещерная глина. При образовании рыхлых элювиальных отложений в минералогическом составе могут преобладать гидрослюды, что сказывается на набухании грунтов и снижении механической прочности при обводнении. Создаются специфические условия для проявления типично карстовых форм на дневной поверхности, а также для других сопутствующих деформаций: карстово-оползневых, значительных карстово-эрозионных форм рельефа, проявляющихся в пределах береговых массивов [9].

Среда проявления оползней, вызванных развитием карста, имеет примерно аналогичные геолого-геоморфологические условия на участке от г. Свирска до зал. Унга, где смещения происходят по глинистому прослою, образовавшемуся на контакте гипс-ангидритовых пород с известняками и загипсованными доломитами. Фильтрация пресных вод водоема в береговые массивы сказывается на активизации карстового процесса. Формирующиеся оползневые цирки, как правило, не имеют в плане типично округлой формы. Прямоугольная форма блоков контролируется тектонической трещиноватостью, поэтому смещающиеся оползневые ступени имеют вид правильных параллелепипедов.

Активизация карстово-оползневых деформаций в береговой зоне хорошо видна по ежегодно обновляющимся провалам, карстовым и суффозионным воронкам и все более четко проявляющимся оползневым элементам — заколам, трещинам отпора, карстово-оползневым рвам. В основании склонов в зонах переменного колебания уровня формируются горизонтальные полости выщелачивания, выполненные рыхлым материалом. В период низкого положения уровня воды в водохранилище отобраны образцы отложений из вскрытого слоя — доломитовой муки.

Лабораторные исследования этих грунтов показали, что они обладают низкой механической прочностью, а при обводнении переходят в пластичное, а также текучее состояния. В пределах этого преобразованного и ослабленного слоя-заполнителя происходят пластические деформации, приводящие к смещению блоков вышележащих пород в сторону эрозионного вреза. Динамика развития карстово-оползневых участков зависит от скорости выщелачивания карбонатных пород основания склона.

В мысовой части зал. Шалоты находится один из типичных участков с активным развитием карстово-оползневых деформаций. В его пределах наглядно видна взаимосвязь карстового и оползневого процессов, контролируемых, в свою очередь, уровнем режимом водоема. Ежегодное обследование деформированного склона и анализ полученных полевых материалов свидетельствуют о формировании оползневых рвов и заложении выше по склону еще одной трещинной зоны, что демонстрирует значительную динамику процесса. При высоких уровнях воды в водохранилище происходит размыв сформировавшихся делювиальных отложений, и подножье склона отступает вглубь берегового массива до 3 м (2003–2004 гг.). По трещиноватым зонам происходит общее проседание дневной поверхности до 15 см в год (рис. 2).

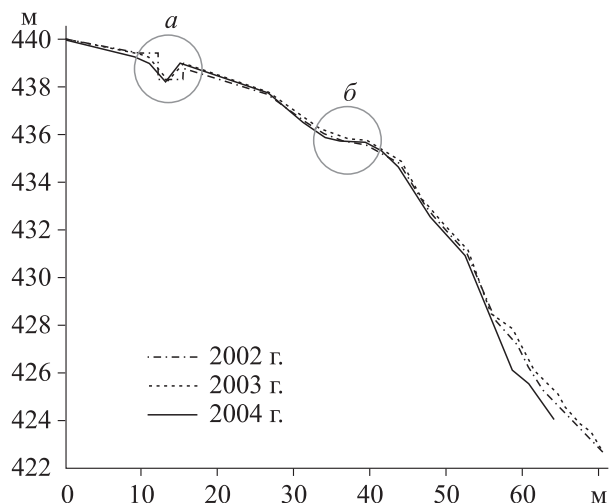
Летом 2004 г. выше по склону зафиксировано проявление ряда провалов шахтного типа, что говорит о заложении нового оползневого блока. Нарушен дерновый покров, провалы на поверхности небольших размеров (40 × 40 см), но значительной глубины — более 3 м. Механизм смещения этого блокового оползня — медленная глубинная ползучесть. Таким образом, на данном участке можно говорить об активном техногенном карстовом процессе в глубине массива и спровоцированном интенсивном проявлении оползневых деформаций в зоне влияния водохранилища.

При выполнении серии полевых работ отобраны образцы коренного доломита с образовавшейся на них корочкой (образец начального этапа формирования рыхлых отложений). По данным рентгено-структурного анализа<sup>1</sup> агрегат образован доломитом и опаловидным веществом с примесью кальцита, глинистого минерала (смектита) и брусита. Краевая зона представлена параллельно-шестоватым агрегатом. В его основании находится зона доломита, на которую нарастает кальцит. Таким

<sup>1</sup> Аналитик Е. Галускин (Силезский университет, Польша).

Рис. 2. Профиль оползневого склона в зал. Шалоты, Братское водохранилище.

*а* — сформировавшийся ров с осыпающимися стенками;  
*б* — трещинная зона с осевшей поверхностью.



образом, уже на начальной стадии преобразования коренных растворимых пород в составе агрегата присутствуют минералы группы монтмориллонита, что, безусловно, влияет на прочностные и деформационные свойства переотложенного рыхлого материала, заполняющего подземные полости.

Карстовые процессы на описываемой территории имеют длительную историю развития, в ходе которой отмечается несколько этапов карстообразования, что наложило отпечаток на строение и состав горных пород. Происходили процессы гипергенного метасоматоза и перекристаллизации вещества, приводящие к формированию в карбонатных толщах различных включений, а в некоторых областях Восточной Сибири — и полезных ископаемых. В отобранных нами образцах коренного субстрата обнаружены крупные сферолиты целестина, что подтверждает значительную обводненность горных пород в верхнекембрийскую эпоху.

Целестин образуется в осадочных горных породах в озерных и морских условиях, т. е. он формируется из водных растворов зоны полного водонасыщения. По мнению Г. П. Вологодского, «...в верхнекембрийскую эпоху процессы выщелачивания в карбонатных породах сменились процессами уплотнения и перекристаллизации пород с залечиванием каверн разного рода минеральными новообразованиями» [10, с. 99]. На современном этапе развития территория вновь обводнена, но уже по воле человека, и карстовые процессы на описываемой территории активизированы.

В настоящее время в зоне влияния искусственного водоема унаследованный карст имеет в основном техногенный характер. За время эксплуатации водохранилища активизация карстового процесса стала намного интенсивней. Также возросла пораженность карстовыми формами прилегающих к водохранилищу территорий [11].

Техногенный карстовый процесс приводит к приращению размеров унаследованных форм и формированию их техногенных аналогов. В пределах береговых склонов при выходе карстующихся пород на дневную поверхность непосредственно на урезе формируются волноприбойные ниши, эфемерные пещеры. При выщелачивании гипсов (по данным В. М. Филиппова [12]) на первое место выступает не химический состав, а структурно-текстурные признаки, наличие микротрещин, включение терригенного материала и т. д.

Растворение гипсов значительно; за один сезон стояния воды на высоких отметках в береговых уступах по тектоническим и литогенетическим трещинам могут формироваться объемные полости, размеры которых зависят от состава пород и их раздробленности. Они колеблются в значительных пределах: ширина — от 0,1 до 1,2 м; глубина — от 0,5 до 6 м и более. Протяженность эфемерных пещер в районе с. Хадахан по трещинным зонам достигает 30 м, наружный диаметр входа — более 2 м.

При обследовании побережья в зал. Мухар-Желга (2006 г.) в массиве коренных пород обнаружены вскрывшиеся свежие карстовые пещеры. Карстовые полости выработаны в кембрийской терригенно-карбонатной формации, представленной ангидритами и гипсами, и имеют значительные размеры. Ширина ходов-галерей достигает 1,5 м, высота залов до 5 м. Все ходы и залы приурочены к системам региональной тектонической трещиноватости северо-западного и северо-восточного простирания. На дневной поверхности в области развития пещер образовались целая серия мелких провалов и ряд блюдцеобразных воронок (до 12 м в диаметре). Наиболее протяженная пещера с просторными ходами находится в центральной части залива. Дно карстовых полостей заполнено глиной с обломками вмещающей породы.

На участке правой стрелки зал. Мухар-Желга, непосредственно на урезе, обнажены коренные сильно трещиноватые гипс-ангидритовые образования. Участок представляет собой сильно корродированную структуру с большим количеством полостей, ходов и щелеобразных трещин значительных размеров. Один из самых протяженных ходов достигает 8 м и ориентирован субпараллельно береговой линии, высота свода до 5 м. Вглубь берегового массива ходы сужаются, превращаясь в глубоко проникающие трещины.

Некоторые ходы-гроты в подводных частях соединены с водохранилищем, что установлено по наличию в воде рыб и другим признакам. Видимая глубина таких сифонов значительна и достигает 4 м и более. В начале гротов и ходов наблюдаются завалы из обломков и крупных глыб гипса. В ходах, дно которых заполнено глиной, отмечены небольшие озера, покрытые льдом. Завершается цепь обнажений недоступными для проникновения трещинами, над которыми выше по склону сформировалась цепочка сопрягающихся провалов общей протяженностью более 13 м и глубиной до 4 м. Один из провалов вскрывает узкий ход, глубоко уходящий в береговой массив.

В результате многолетней эксплуатации водохранилища произошло вскрытие обновленных карстовых полостей. До заполнения водохранилища в этом районе для исследователей была доступна одна из крупнейших пещер в Восточной Сибири — Балаганская. Протяженность ее обследованных полостей составляла 1200 м. Пещера образована сетью ходов северо-восточного и северо-западного простирания, расположенных в четыре этажа [10]. В настоящее время она затоплена, но при низких уровнях воды в водохранилище открывается небольшая часть входа. Однако проводить исследовательские работы, в том числе и подводные, в пещере не представляется возможным из-за повышенного риска для жизни в связи с хрупкостью пород, слагающих стены и своды.

По нашему мнению, все вышеописанные явления карста в пределах береговых склонов и сама Балаганская пещера — это единая карстовая Хадаханско-Мельхитуйская система, гипсометрически расположенная на одном уровне, обновление и интенсивное развитие которой происходит в настоящее время и активно контролируется уровнем режимом водоема. В этом районе на поверхности ежегодно появляются свежие провальные формы, обновляются существующие, отмечается взаимосвязь карста с другими экзогенными геологическими процессами.

Созданные человеком технические сооружения, с одной стороны, оказывают значительное влияние на состояние геологической среды, преобразуя ее, приводя к формированию новых негативных свойств и различных форм проявления процессов. С другой, сама геологическая среда, демонстрируя реакцию на техногенный прессинг в виде проявления опасных экзогенных геологических процессов, оказывает воздействие на стабильное состояние инженерно-технической системы в целом, приводя к проблемам при эксплуатации сооружений.

Так, в районе ст. Карстовая на 590-м километре Восточно-Сибирской железной дороги (район Усть-Илимского водохранилища) периодически возникают сложности с целостностью железнодорожного полотна в результате проявления на поверхности карстовых форм. Карстовый процесс на данной территории развивался и раньше. При бурении вскрываются полости значительных размеров, приводящие к деформации и поломке бурового инструмента. Эксплуатирующие организации применяют специальные технические средства для повышения устойчивости сводов карстовых пустот и снижения риска грузоперевозок по железной дороге.

В настоящее время в связи с разведкой и добычей нефти на территориях, сложенных карстующимися породами, возникает особая проблема загрязнения подземных вод и возможных потерь полезного ископаемого в процессе промышленной эксплуатации месторождений в тех местах, где карстообразование связано с терригенно-карбонатными породами нижнего ордовика и сульфатно-карбонатной толщей нижнего кембрия. Проявление глубинного карста здесь установлено буровыми работами, при этом закарстованность карбонатных пород увеличивается с глубиной. Одна из разведочных скважин на Верхнечонском месторождении вскрыла полость глубиной 6 м. Кроме того, отложения сильно трещиноваты. Все это создает условия для поглощения нефти карстовыми полостями через плохо изолированные стволы эксплуатационных скважин с формированием в пределах карстующейся толщи нефтяных микроместорождений. Такие процессы, безусловно, будут сопровождаться загрязнением горизонтов подземных карстовых вод.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема геоэкологии карста на территории юга Восточной Сибири достаточно остра. При интенсивном освоении Сибирского региона возникают вопросы безопасности эксплуатации различных сооружений и создания основных необходимых природоохранных мероприятий. Природные и природно-технические геосистемы имеют схожие геолого-геоморфологические условия, однако отличаются набором процессформирующих факторов, величиной воздействия техногенной нагрузки и, следовательно, по-разному реагируют на нее, демонстрируя различную динамику и активность проявления карста и других экзогенных геологических процессов. Карстовый процесс — один из наиболее сложных и опасных в мире [13]. Знание закономерностей формирования, региональных скоростей протекания процессов в различных природных и природно-технических системах дает возможность прогнозирования состояния геосистем во времени.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Сочава В. Б.** Учение о геосистемах. — Новосибирск: Наука, 1975. — 318 с.
2. **Бондарик Г. К.** Общая теория инженерной (физической) геологии. — М: Недра, 1981.
3. **Замараев С. М.** Краевые структуры южной части Сибирской платформы. — М: Наука, 1967. — 247 с.
4. **Вологодский Г. П.** Карст Иркутского амфитеатра. — М.: Наука, 1975. — 124 с.
5. **Филиппов А. Г.** Генезис Ботовской пещеры // Геоморфология. — 1999. — № 1. — С. 108–115.
6. **Цыкин Р. А.** Карст Сибири. — Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1990. — 54 с.
7. **Овчинников Г. И., Павлов С. Х., Тржцинский Ю. Б.** Изменение геологической среды в зонах влияния Ангаро-Енисейских водохранилищ. — Новосибирск: Наука, 1999. — 254 с.
8. **Trzhtsinsky Yu.** В Anthropogenic activation of karst in the East Siberia // Carbonates and Evaporites. — 2002. — Vol. 17, № 2. — P. 117–124.
9. **Тржцинский Ю. Б., Павлов С. Х., Козырева Е. А.** Оползни в карстующихся породах Верхнего Приангарья // География и природ. ресурсы. — 2003. — № 1. — С. 87–93.
10. **Вологодский Г. П.** Карст Южного Приангарья // Инженерно-геологические особенности Приангарского промышленного района и их значение для строительства. — М.: Наука, 1965. — С. 49–107.
11. **Kozyreva E. A., Trzhtsinsky Yu. B.** Karst and its correlation with other geological processes (with reference to the zone of influence of Bratsk Reservoir) // Newsletter. — China, 2004. — № 4. — P. 67–82.
12. **Филиппов В. М.** Динамика карста зоны влияния Ангарских водохранилищ: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Л., 1988. — 17 с.
13. **Pulina M.** Kras. Formy i procesy. — Katowice, 1999. — 376 p.

*Институт земной коры СО РАН,  
Иркутск*

*Поступила в редакцию  
22 октября 2007 г.*