

**В.П. Солоненко****Карст Восточной Сибири¹**

Солоненко В.П. Карст Восточной Сибири // Спелеология и карстология. – № 12. – Симферополь. – 2014. – С. 17-25.

Резюме: Помимо региональной характеристики карстовых явлений Сибирской платформы и её горно-складчатого обрамления, в работе (основанной на оригинальной публикации 1960 г.) рассмотрены взаимоотношения карста и многолетней мерзлоты, причины более слабого развития карста в складчатой зоне по сравнению с платформой. Особое внимание уделено карсту Черемховского района Приангарья, где проектировалось строительство Бархатовской ГЭС. Показано, что общая оценка степени закарстованности карстового участка по свитам, как это практиковал Н.И. Соколов, не имеет практического инженерно-геологического значения. Подвергнут критике методологический подход Н.А. Гвоздецкого к подсчёту коэффициента пустотности карбонатных пород для значительных площадей, основанный на измерениях пустотности в отдельных обнажениях. Отвергнуты выводы Н.И. Соколова и Н.А. Гвоздецкого о затухании карстовых процессов в сторону от р. Ангары в связи с потерей агрессивных свойств воды. Показано, что сульфатные воды юрской терригенной угленосной толщи, фильтруясь в карбонатные кембрийские отложения, не только сами растворяют карбонатные породы, но, смешиваясь с подземными водами карбонатной толщи, вызывают повышение агрессивности этих вод из-за того, что сульфат-ион высвобождает значительное количество свободной углекислоты из гидрокарбонатных вод. Региональное распространение имеют процессы интенсивного закарстования, протекающие в зоне смешения гидрокарбонатных вод зоны интенсивной циркуляции и глубинных напорных сульфатных солёных вод вследствие повышения агрессивности вод при переходе их из гидрокарбонатных в сульфатные.

Проанализированы скорости растворения и разрушения местных карбонатных пород на основе опытов с ангарской речной водой. Сделан вывод, что какой-либо определённой закономерности в скорости растворения различных разновидностей карбонатных пород Приангарья нет. Рассмотрена история карста Иркутского бассейна. Выделены среднекембрийский, доюрский и последюрский карст. Дана оценка инженерно-геологического значения карста Черемховского района Приангарья.

Ключевые слова: карст, пещеры, Восточная Сибирь, агрессивность подземных вод, инженерно-геологическая оценка.

Солоненко В.П. Карст Східного Сибіру // Спелеология і карстология. – № 12. – Симферополь. – 2014. – С. 17-25.

Резюме: Крім регіональної характеристики карстових явищ Сибірської платформи і її гірничо-складчастого обрамлення, в роботі (заснований на оригінальній публікації 1960 року) розглянуті взаємовідносини карсту і багаторічної мерзлоти та причини більш слабого розвитку карсту в складчастій зоні в порівнянні з платформою. Особливу увагу приділено карсту Черемхівського району Приангар'я, де проектувалося будівництво Бархатовської ГЕС. Показано, що загальна оцінка ступеня закарстованості карстової ділянки по свитах, як це практикував Н.І. Соколов, не має практичного інженерно-геологічного значення. Підданий критиці методологічний підхід Н.А. Гвоздецького до підрахунку коефіцієнта порожнинності карбонатних порід для значних площ, заснований на вимірах порожнинності в окремих відслоненнях. Відкинуті висновки Н.І. Соколова і Н.А. Гвоздецького про загасання карстових процесів у бік від р. Ангары в зв'язку з втратою агресивних властивостей води. Показано, що сульфатні води юрської терригенної угленосної товщі, просочуючись у карбонатні кембрійські відкладення, не тільки самі розчиняють карбонатні породи, але, змішуючись з підземними водами карбонатної товщі, викликають підвищення агресивності цих вод через те, що присутність сульфат-іону вивільняє значну кількість вільної вуглекислоти з гідрокарбонатних вод. Регіональне поширення мають процеси інтенсивного закарстування, що протікають в зоні змішення гідрокарбонатних вод зони інтенсивної циркуляції і глибинних напірних сульфатних солоних вод внаслідок підвищення агресивності вод при переході їх з гідрокарбонатних до сульфатних.

Проаналізовані дані із швидкості розчинення і руйнування місцевих карбонатних порід на основі дослідів з ангарської річковою водою. Зроблено висновок, що будь-якої певної закономірності в швидкості розчинення різних відмінностей карбонатних порід Приангар'я немає. Розглянуто історію карсту Іркутського басейну. Виділено середнекембрійську, доюрську та післяюрську епохи карстування. Дана оцінка інженерно-геологічного значення карсту Черемховського району Приангар'я.

Ключові слова: карст, печери, Східна Сибір, агресивність підземних вод, інженерно-геологічна оцінка.

Solonenko V.P. Karst of the Eastern Siberia // Speleology and Karstology. - № 12. - Simferopol. - 2014. – P. 17-25.

Abstract: The paper (based on an original publication of 1960) discusses regional characteristics of karst phenomena of the Siberian Craton and surrounding folded belts, karst and permafrost relationship, and the reasons for weaker karst appearance in folded belts in comparison with the craton. Special attention is devoted to the karst of the Cheremkhovo district in Priangarie where construction of the Barkhatovo Hydroelectric Power Station was planned. It is emphasized that general evaluation of a degree of karst development for entire geological formations has no practical engineering geologic value. N.A. Gvozdetsky's methodological approach to the calculation of karst-related cavernous porosity for large areas, which based on measurements of porosity in isolated outcrops, is criticized.

N.I. Sokolov's and N.A. Gvozdetsky's conclusions on decreasing of karstification towards watershed from Angara River due to loss of water aggressiveness are discarded. Contrarily, it is shown that at watershed sulfate waters from Jurassic terrigenous coal-bearing stratum, percolating into the Cambrian carbonate sediments, not only dissolve carbonate rocks using existing aggressiveness but also rejuvenate aggressiveness of descending waters while mixing with underground waters of carbonate formations because the presence of sulfate-ion liberates essential amount of free carbon dioxide from bicarbonate waters. Intensive karstification, occurring in the mixing zone where bicarbonate waters of the zone of vigorous circulation meet deep sulfate salty artesian waters, has regional distribution here.

Rates of dissolution and disintegration of local carbonate rocks are analyzed on the basis of experiments involving natural waters of Angara River. A conclusion is made that there is no certain regularity in the dissolution rate of various species of carbonate rocks.

Karst of Priangarie has a long history of development. Middle-Cambrian, pre-Jurassic and post-Jurassic karst phases are recognized. An engineering geologic assessment of karst significance in the Cheremkhovo district is made.

Key words: karst; caves; Eastern Siberia; aggressiveness of underground waters; engineering geologic evaluation.

ПРЕДИСЛОВИЕ (ОТ РЕДАКЦИИ)

Имя Виктора Прокопьевича Солоненко (рис. 1) широко известно инженерным геологам, сейсмогеологам и геологам-нерудникам (Институт..., 2014; Ружич, 2004; Гольдфарб, 2007). К сожалению, его работа, посвящённая карсту, осталась практически незамеченной карстоведами – возможно, потому, что очерк о карсте Восточной Сибири был «спрятан» за «инженерно-геологическим» названием монографии, в которой он был опубликован («Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири», 1960 г.). Возможно, определённую роль сыграло и то, что книга была издана в местном книжном издательстве г. Иркутска. Монография была написана в 1947 г., но по различным причинам не была опубликована до 1960 г. Частично она была дополнена новыми материалами в 1953 г. При подготовке к печати в 1958 г. в неё были внесены дополнения и изменения, имеющие только принципиальное значение (Солоненко, 1960: с. 4).

Очерк этот отнюдь не потерял своего значения и по сегодняшний день: в нём Солоненко изложил своё видение инженерно-геологического подхода при общей оценке карста конкретных площадей. Этот подход заключается, помимо непосредственных наблюдений над карстом, в рассмотрении всего комплекса процессов и явлений, способствующих карстованию, главными из которых являются свойства карстующихся пород, история развития карста и гидрогеология карстового района. Солоненко не

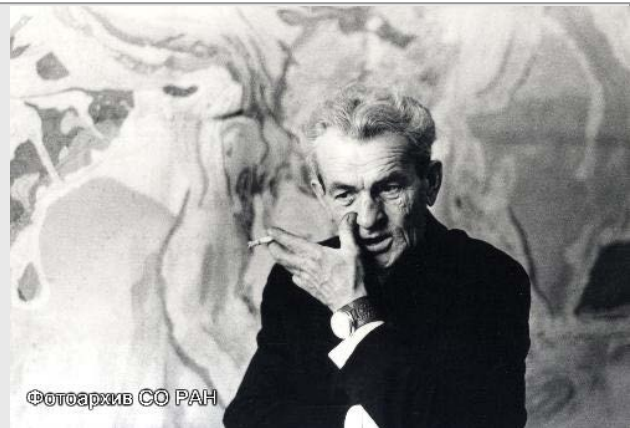


Рис. 1. Виктор Прокопьевич Солоненко (годы жизни 1916–1988, фото 1977 г., Короткочурко, 2014).

просто постулировал эти принципы, но и на конкретном примере – Бархатовском карсте на р. Ангаре – убедительно показал, как следует применять их в конкретном случае.

Хочется надеяться, что электронная публикация очерка В.П. Солоненко делает его легко доступным современным исследователям карста и принесёт свою пользу при инженерно-геологической оценке закарстованных территорий.

А.Г. Филиппов

ВВЕДЕНИЕ

На Сибирской платформе имеется карбонатный и гипсовый карст; в складчатой зоне – только карбонатный, причем карстовые формы, хотя здесь встречаются часто, но плотность их невелика.

Относительно слабое развитие карста в складчатой зоне связано не с резким преобладанием здесь физического выветривания над химическим и не с влиянием вечной мерзлоты, как это часто думают до

настоящего времени, а с общими гидрогеологическими, геологическими, гидрологическими условиями, историей развития рельефа и т. п. Во-первых, в складчатых зонах почти все карбонатные породы представлены мраморами и кристаллическими известняками, которые карстуются значительно хуже, чем некристаллические их разновидности. Во-вторых, здесь подавляющая масса карбонатных пород относится к докембрийским и нижнепалеозойским сильно дислоцированным породам с невыдержанными

водоносными горизонтами и с весьма непостоянным гидрогеологическим режимом. В-третьих, в недавнем прошлом большинство горных районов было поднято на значительную высоту и мощные верхние горизонты пород были снесены в результате денудационных процессов. Вследствие этого, ранее существовавший карст уничтожен, так как древняя кора выветривания была разрушена, по крайней мере, до зоны застойных вод. Последнее доказывается почти повсеместным отсутствием на месторождениях полезных ископаемых зоны окисленных руд и зоны вторичного сульфидного обогащения, в то время, как в юго-восточном Забайкалье, испытавшем слабое поднятие и не подвергавшемся оледенению, мощность зоны окисления сульфидных месторождений достигает 100 и даже 200 м. В-четвёртых, горные районы Восточной Сибири отличаются низкой водоносностью пород, так как верхний слой грунтов, находящийся не менее 9-10 месяцев году в мёрзлом состоянии, препятствует инфильтрации атмосферных и поверхностных вод на глубину, а количество выпадающих атмосферных осадков небольшое.

Вследствие отмеченных причин в горных областях нет сколько-нибудь значительных карстовых районов; обычно встречаются одиночные или небольшие групповые карстовые формы. Взаимоотношения карста и вечной мерзлоты значительно сложнее, чем это может показаться на первый взгляд. Одно несомненно, что карст оказывает большее влияние на вечную мерзлоту, чем вечная мерзлота на карст. Следует отметить, что карбонатные породы являются наиболее «тёплыми». При закарстованности или значительной трещиноватости они сохраняют положительную температуру, даже в районах с мощной низкотемпературной вечной мерзлотой. Так, на Ботокольском гольце при температуре грунтов слоя нулевой годовой амплитуды - $-6,25^{\circ}$ и мощности вечной мерзлоты 265 м, в кристаллических известняках существуют карстовые воронки (диаметр до 25 м, видимая глубина 5 м) с поглощающими понорами (Солоненко, 1952). На Алдане при мощности вечной мерзлоты до 250 м карбонатные породы сильно закарстованы и на значительных площадях находятся в талом состоянии (Билибин, 1937). Таких примеров в Восточной Сибири известно много.

Значительно менее ясно влияние вечной мерзлоты на карст. Можно лишь предполагать, что при слабой трещиноватости известняков они могут быть заморожены и тем самым могут стать водонепроницаемыми. В карстовых воронках по накоплению терригенного материала возникает вечная мерзлота, препятствующая дальнейшему поглощению воронкой атмосферных и поверхностных вод, что прекращает рост карста. Насколько эти процессы имеют региональное значение пока сказать нельзя.

КАРСТ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

В складчатых областях карст связан преимущественно с верхнеархейскими и протерозойскими и значительно менее – палеозойскими мраморами и кристаллическими известняками. В Прибайкалье и особенно в Приольхонье, где

сохранились обширные и многочисленные древние долины, карст имеет довольно значительную плотность. На поверхности карст проявляется пещерами (в Приольхонье и на о. Ольхоне их известно более 50), карстовыми озёрами, полями, карстовыми воронками.

Подземный карст местами развит довольно хорошо, о чём свидетельствуют исчезающие в карсте речки. Например, р. Малая Бугульдейка у улуса Таловка уходит в карстовую воронку и течёт под землёй около 1 км (Павловский, Цветков, 1938).

В Забайкалье карст отмечен преимущественно в протерозойских породах. На хребте Безымянном на восточном побережье Байкала И.С. Валицкая установила в известняках крупную бессточную карстовую впадину длиной около 1 км, глубиной до 100 м. В районе Горячинска еще И.Д. Черским отмечена карстовая воронка диаметром около 100 м.

Карст отмечен в бассейне р. Кики. Правый приток этой реки – р. Прорва – в нижней своей части уходит под известняковую скалу и на протяжении 3-х км течет под землей, причем местами слышен ее шум. Перед впадением в р. Кикю она снова выходит на поверхность.

В долине р. Селенги известен ряд пещер, преимущественно в протерозойских известняках.

Ряд карстовых форм отмечен в Читинской области. Из них наибольшей известностью пользуется карст в бассейне р. Конды (Букача), пещеры Акшинская, Мангутская и др. Впрочем, последнюю некоторые исследователи относят к древним искусственным подземным постройкам.

В Забайкальском полиметаллическом рудном поле карст связан с палеозойскими известняками. Процессы окисления сульфидных месторождений способствуют карстованию, но вследствие сложных геологических и тектонических условий и сильного изменения состава известняков под воздействием интрузий и гидротермальных процессов карст не получил широкого развития, – здесь обычно устанавливаются небольшие по размерам и очень сложные по форме карстовые наклонные каналы и коридоры.

В палеозойских известняках известны пещеры на Шерловой горе и в Онон-Борзинском районе.

Закарстованные докембрийские известняки установлены в бассейне руч. В. Икат – притока р. Баргузина, на Витимском плоскогорье и многих других районах.

На Патомском нагорье по сообщению Пармузина на водоразделах, сложенных протерозойскими кристаллическими известняками, встречаются озера, занимающие карстовые воронки, дно которых стало водонепроницаемым вследствие развития вечной мерзлоты. Там же в долине р. Хомолхо при разведке установлена крупная (300×400 м) сложная карстовая воронка глубиной 51 м. Она на всю глубину заполнена обломочным материалом находящимся в вечно мерзлом состоянии. В бассейне р. М. Патома Фёдоровская яма представляет ещё более крупную воронку глубиной до 54 м. Она заполнена делювиально-аллювиальными отложениями со слоистой вечной мерзлотой (Пармузин, 1954).

В Восточном Саяне и Хамар-Дабане карст установлен во многих пунктах. В верховьях рр. Оки, Китоя, Иркуты, Бирюсы и др. отмечены карстовые воронки диаметром до 350 м и глубиной до 20-30 м, местами и более. В верховьях р. Китоя были встречены карстовые впадины глубиной во много десятков метров, которые вследствие своих крупных размеров неопытным геологом были приняты за проявления современной дизъюнктивной тектоники.

В верховьях р. Бирюсы известны крупные пещеры со сталактитами и сталагмитами.

Несмотря на мощную вечную мерзлоту в Восточном Саяне развит подземный карст, о чем свидетельствуют мощные восходящие источники подмерзлотных вод, связанные с карбонатными породами, а также поглощение карстовыми воронками ручьев и речек (рч. Жохо, Монгоши, в районе Ботогольского гольца и много др.).

КАРСТ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

На Сибирской платформе карст широко развит в карбонатных породах нижнего кембрия и устькутской свиты. Гипсовый карст приурочен к низам верхнекембрийских отложений, а ангидритовый глубинный микрокарст связан со средними горизонтами нижнего кембрия.

Гипсовый карст в Восточной Сибири, сравнительно с карбонатным карстом, занимает значительно меньшие площади.

Гипсовый карст, проявляющийся воронками обрушения, в верховьях рр. Лены и Киренги, описан В.П. Масловым (1947). В местах выходов пластов гипса на поверхность на склонах тянутся цепочки карстовых воронок (южнее д. Мурынья).

Наиболее ярко гипсовый карст проявляется в Балаганском районе в придолинной части р. Ангары между д. Евсеево и долиной р. Унги. По данным отряда С.С. Воскресенского карстовые воронки начинают встречаться на правобережье р. Ангары между д.д. Евсеево и В. Середкино, на левом берегу – в 8 км ниже пади Кундуй, а ниже этих пунктов с небольшими перерывами – по обоим берегам и на острове Осинском, достигая максимума на правобережье между падью Шалоты и Балаганском и в приустьевой части длины р. Осы. Все воронки приурочены к цокольным и коренным террасам р. Ангары и ее притоков и к днищам сухих падей. На высоких террасах и на водоразделах они исчезают.

По С.С. Воскресенскому в этом районе выделяются следующие формы карста.

1. Карстовые воронки. Среди них выделяются три разновидности: а) блюдце- и воронкообразные западины глубиной 0,7-1,5-3 м и от 1,5 до 10 м в диаметре. Иногда они сливаются краями. Встречаются они близ д. Н. Середкино на высоких террасах, покрытых лессовидными суглинками и супесями; б) типичные карстовые воронки глубиной 5-12 м при диаметре 10-50 м, иногда глубина их увеличивается до 16-20 м, при диаметре 45-75 м. Воронки занимают до 50 % площади, местами и более. При такой плотности, естественно, нередко они сливаются, образуя сложные карстовые западины с несколькими углублениями на дне. Этот тип воронок наиболее ярко выражен между

падами Мальхинтуйской и Шалоты; в) карстовые воронки, заполненные водой. Диаметр до 60 м. Значительное количество их находится в приустьевой части р. Осы.

2. Карстовые ванны. Образуются при слиянии нескольких карстовых воронок. Длина карстовых ванн достигает 130-150 м, ширина – 60-70 м.

3. Карстовые шахты. С середины прошлого столетия известна карстовая шахта около с. Усть-Оса (озеро Провалище), глубина которого по промерам в то время была больше 107 м.

Карстовые шахты образуются и в настоящее время. Н.А. Гвоздецкий (1953) сообщил, что в мае 1949 г. на левом склоне р. Осы образовалась карстовая шахта размером 3,7×4,2 м, глубиной 52 м. На глубине 21 м стояла вода. Позднее стенки обрушились и шахта приняла форму обычной карстовой воронки. Ранее (в мае 1949 г.) о новых провалах сообщили местные жители. Слесарь Бильчирской МТС А.П. Иванов написал, что 23 апреля 1949 г. в 5 км юго-западнее с. Усть-Оса «на поле обнаружено провалище диаметром 4-5 м, глубиной около 25 м. Внизу видна вода с заметным течением». В то же время колхозник С.С. Клыпин сообщил, что «в местности Игитуй, в 3 км от Усть-Осы в ночь на 25 апреля образовалась карстовая воронка диаметром 10 м и глубиной 30-40 м. Внизу бушует вода». Не исключена возможность, что Иванов, Клыпин и Гвоздецкий пишут об одном и том же случае.

4. Пещеры. Наибольшей популярностью пользуется Балаганская пещера. Она находится в Мельхитуйской пади в 3-х км от р. Ангары. Карстовые коридоры и залы высотой до 15 м располагаются несколькими ярусами в толще гипсов, заключенных в доломитах. Общая длина ходов достигает почти 1000 м.

Для гипсового карста Балаганского района характерна типичная карстовая гидрография. Все речки, вступая в карстовый район, теряют воду и только одна р. Оса, питаемая мощными карстовыми источниками, доносит свои воды до р. Ангары. В районе существуют мощные подземные потоки, пути движения которых еще не изучены, а также небольшие, но иногда очень глубокие карстовые озера.

Почти все исследователи, работавшие на Сибирской платформе в области распространения кембрийских карбонатных пород, отмечают их закарстованность. В.П. Маслов (1947) в верховьях рр. Лены и Киренги и их притоков описал целые системы карстовых воронок, диаметром до 100 м и больше (преобладают от нескольких метров до 20 м). Воронки часто переходят в карстовые колодцы. В крупных воронках иногда находится несколько поглощающих колодцев. Местами воронок настолько много, что они образуют типичный карстовый ландшафт. Некоторые реки поглощаются карстом.

В поле кембрийских карбонатных пород карст широко развит к северу от г. Иркутска. Речки здесь нередко то исчезают, то снова появляются на поверхности. О том, что карст здесь хорошо разработан на значительную глубину свидетельствует местами очень глубокое залегание грунтовых карстовых вод – до 70-80 м (бассейн р. Каменки). При бурении крупные карстовые полости встречаются до глубины 500 м.

В бассейне р. Лены описано много пещер и других форм карста. Карсту в значительной мере обязан своим происхождением своеобразный рельеф, хотя и не ведущим, но резко бросающимся в глаза элементом которого является «каменный лес».

В Киренском районе в трещинах и воронках исчезают многие речки (Сухая, Коротчиха и др.). Юго-восточнее с. Дубровского многочисленные карстовые воронки на водоразделах и исчезающие речки в долинах указывают на значительную плотность карстовых форм.

По левому притоку р. Лены – р. Ботовке находится Ботовская пещера, осмотренная в 1946 г. М.М. Одинцовым. Вход в пещеру располагается на высоте 200 м над уровнем реки. Мощность кровли 30-50 м. Общая прослеженная длина ходов шириной 1-1,5 м и высотой 1-2 м, превосходит 100 м, но некоторые ходы остались неосмотренными, также не определена глубина многих вертикальных и горизонтальных каналов.

Широко развит карст в устькутской свите Ангаро-Илимского района. Речные долины в результате проявления процессов карстования местами приобретают форму кляmma. Многочисленны здесь карстовые воронки и провалы, местами поглощающие речки (Касьяновский Иреек, Чёрная и др.). Карст в бассейне р. Илима способствует развитию явления отседания берегов и оползней.

На междуречье Оки и Б. Белой, по наблюдениям Г.А. Покатилова и В.Н. Щербакова, в районе развития карбонатных пород повсеместно встречаются карстовые воронки диаметром 3-5 м и глубиной 1-2 м, иногда размер их увеличивается до 20-25 м, а глубина – до 12-15 м. Особенно много воронок по сухим оврагам на правобережье р. Залари. Вследствие хорошо разработанного подземного карста, речки здесь исчезают. На правом берегу р. Оки, выше железной дороги выходят громадные карстовые источники.

В Присяянье кембрийские известняки очень часто закарстованы. Здесь отмечаются многочисленные карстовые воронки, пещеры, громадные карстовые источники и другие формы проявления карста.

По р. Уде в 60 км выше г. Нижнеудинска находится широко известная Нижнеудинская пещера, изученная еще в прошлом столетии И.Д. Черским (1876). Вход в нее расположен на правом берегу р. Уды на высоте 200 м. Длина ходов пещеры около 580 м.

В Тайшет-Братском районе карстовые воронки, карстовые расщелины, оползни, обвалы, кочующие источники и другие проявления карста широко развиты по р.р. Тымбыр, Солянка и др. (Одинцов, 1937).

Больше сведений есть о карсте Иркутско-Черемховского района.

В Присяянье, на первой предгорной ступени, где на поверхность выходят нижнекембрийские карбонатные породы, по наблюдениям Г.А. Покатилова и В.Н. Щербакова карст развит повсеместно. Выше с. Раздолье, в обрыве левого берега р. Китоя встречаются пещеры, объемом до 10000 м³. Очень часто встречаются карстовые воронки. В вершинах падей воронки имеют вытянутую по пади форму. На террасах рек и на водоразделах воронки круглые, диаметр их около 20 м.

Многочисленные карстовые источники и поглощающие поноры, глубокое залегание грунтовых вод – до 35 м и более ниже местного базиса эрозии

– свидетельствуют о сильном развитии глубинного карста. Так, например, из р. М. Белой вытекает поток с расходом 100-150 л/сек, который поглощается карстовой воронкой, расположенной на берегу реки. Подобное же явление установлено на рч. Хамыжей (приток р. Б. Черемшанки, бассейн р. Китоя).

В правом обрыве р. М. Белой на протяжении 2-2,5 км бьют с большой силой карстовые источники, образующие речку шириной до 15 м, при глубине 0,5-1,5 м. Немного меньшую речку образуют источники в обрыве правого берега р. Китоя юго-восточнее с. Б. Черемшанка. В районе с. Тунгуска на р. М. Иреть в русле реки и у берегового обрыва сосредоточено громадное количество групповых выходов карстовых источников.

В Черемховском районе карст на поверхности проявлен в прибрежной части рр. Белой и Ангары, где карбонатные отложения не прикрыты юрскими осадками. Формы карста разнообразны. Карстовые воронки имеют диаметр от 1-2 до 200 и даже 300 м, глубина их от 1 до 20 м; преобладают воронки диаметром от 8 до 30 м при глубине от 2 до 10 м, с крутизной стенок от 30 до 50°. Часть воронок заполнена суглинками и на поверхности они проявляются в виде плоских блюдец глубиной 2-3-5 м, которые легко спутать с суффозионно-просадочными формами, широко развитыми на Ангаро-Бельском междуречье.

В результате слияния нескольких воронок местами появляются сложные воронки, состоящие из нескольких впадин, разделенных неглубокими перемычками. В падах, реке на террасах, прослеживаются цепи воронок и поглощающих поноров. Слияние воронок или развитие карстовых впадин вдоль оврагов или по трещинным зонам приводит к образованию закрытых или открытых четко видных в плане ложбин.

В карстовых полях воронки располагаются по правильной ромбической сетке, в которой ориентировка рядов совпадает с простирием трещин (саянского и байкальского направлений), что было подмечено еще в тридцатых годах Н.И. Соколовым.

На крутых склонах, обнаженных или прикрытых тонким плащом грубообломочного делювия, появляются коррозионные ложбины.

На значительной площади Ангаро-Бельского междуречья установлен погребенный карстовый рельеф – карстовые воронки и другой формы западины, глубиной до 15 м и более, диаметром 25-30 м, выполненные огнеупорными глинами.

Карстовые воронки быстро заполняются рыхлыми отложениями. Выше Качериковской пади в воронке глубиной в 18 м шурф вскрыл суглинки, а затем, (до глубины 18 м) – навал глыб доломита. Во всем разрезе встречались кости домашних животных.

В формировании большинства падей, врезанных в карбонатную толщу, значительную роль играет карст.

Количество карстовых воронок колеблется в значительных пределах. Н.И. Соколов на карте тектоники и карста района д. Бархатово выделил площади, где на 1 км² приходится более 200 (до 400) карстовых воронок. Наиболее крупное карстовое поле (1×3 км) находится в 1,5 км выше д. Бархатово.

Меньшие по площади карстовые поля отмечены в 2,5 км ниже устья р. Белой, к югу от д. Бурети, у д. Усть-Котиха и к юго-западу от пос. Свирского.

Карстовые поля с плотностью воронок от 10 до 200 на 1 км² выделяются около д. Бурети (3×5,5 км), к югу от Бархатовского карстового поля (3×1,5 км) и к северо-западу от острова Конного, расположенного ниже пос. Макарьево (10,5×3 км). Кроме отмеченных имеется много других, меньших по размерам, полей с большим количеством карстовых воронок.

По происхождению выделяются провальные, просасывания, коррозионные и смешанные типы карстовых воронок.

Подземные формы карста изучены слабо. В бассейне рр. Китоя и Белой известны пещеры, имеющие форму обычных карстовых залов. В большинстве же случаев пещеры имеют форму коридоров, вытянутых по направлению тектонических трещин. Наиболее крупная из известных в Восточной Сибири пещер находится в верховьях пади Худугун в девяти километрах от р. Ангары, впервые изученная Н.И. Соколовым в 1932 г. Она начинается узким (0,7 м) отверстием, которое ведет в подземный зал. От последнего расходятся сеть карстовых коридоров, местами расширяющихся. Коридоры расположены в три яруса в тринадцатиметровой пачке известняков. Общая длина прослеженных коридоров – 3300 м (на площади 100×300 м).

В районе кроме макроформ широко развит микрокарст, приводящий к образованию «рухляков», к которым местами приурочены высокодебитные водоносные горизонты.

Кроме гипсового и карбонатного карста в бассейне р. Н. Тунгуски, по сообщению профессора А.Г. Золотарёва, установлен туфокарст, связанный с туфогенными породами. В бассейнах рр. Ерёмы, Б. Ерёмы, Тетеи и Илимпеи в местах наибольшей тектонической трещиноватости пород на дне долин развиваются карстовые ванны с поглощающими понорами. Местами развивается целая система сухих русел, между которыми сохраняются останцы обтекания высотой 3-4 м.

Туфокарст развивается только на пирокластических породах в притеррасных, реже прибортовых частях крупных долин. Туфы содержат всего несколько процентов растворимого материала, поэтому размеры карстовых ванн небольшие – глубина 5-20 см, ширина до 1-1,5 м. На водоразделах туфокарст не проявляется.

ОБСУЖДЕНИЕ

Общую оценку степени закарстованности карбонатных пород Черемховского района дали Н.И. Соколов в 1934-48 гг., В.П. Солоненко в 1947 г. и Н.А. Гвоздецкий в 1951 г., причем они пришли к принципиально различным выводам.

Н.И. Соколов оценку степени закарстованности пород дал по свитам: худугунская – 1,1; 8, 14 и 16,5 % (по разным его работам), идинская – 5,5 %, бархатовская – 8,2 %, холмушинская – 0,5-5 %, булайбельская – 11 %.

В действительности же общая оценка степени закарстованности целых свит не имеет практического значения, так как карстуемость пород зависит не только от петрографического состава пород (который только и может быть учтён при подобной оценке, да и то не полностью), но и от столь переменчивых по площади факторов, как химический состав пород, примеси терригенного материала, структуры пород, трещиноватости, гидрогеологического, гидрохимического режима, тектоники и т.д.

По Н.А. Гвоздецкому коэффициент пустотности карбонатных пород между д. Пономарёвой и пос. Свирским колеблется от 0,7 до 1,6 %, а в свежих породах – в 5-10 раз ниже. На основании этого Гвоздецкий пришел к выводу, что в «сторону от р. Ангары не только затухает распространение поверхностных карстовых форм, но значительно уменьшается и степень развития форм глубинного карста».

При инженерно-геологической оценке карста Черемховского района выводы Гвоздецкого не могут быть приняты во внимание по следующим причинам:

1. Практика эксплуатации водоносных горизонтов категорически отрицает возможность оценки пустотности карбонатных пород по измерениям пустотности в отдельных обнажениях, как это сделал Гвоздецкий.
2. Детальное исследование мраморов на побережье оз. Байкал показало, что в зоне коры выветривания пустотность их в среднем составляет 4,83 %. Таким образом, сильно закарстованные известняки Черемховского района по Гвоздецкому имеют пустотность в 3-7 раз ниже, чем массивные незакарстованные породы.
3. Скорость потоков подземных вод в карбонатной толще достигает исключительных величин, а расходы водоносных горизонтов – уникальных размеров (дебит источников до 1000 л/сек и более), причём вода не успевает в какой-либо мере насытиться солями (сухой остаток нередко всего 80-90 мг/л).
4. Появление карстовых полей с высокой плотностью карстовых форм совершенно невозможно при столь низкой пустотности, как это считает Гвоздецкий.

При обсуждении возможности осуществления Бархатовского варианта Ангаргэс Гвоздецкий, в общем, если отбросить условность формулировок, утверждал, что карст не представляет сколько-нибудь существенной угрозы для строительства. На основании приведённых выше соображений и геологической истории формирования карста Приангарья мы категорически возражали против подобного заключения. Разведка Бархатовского створа показала, что пустотность карбонатных пород по ряду скважин достигает 20 %, а резкого понижения степени закарстованности пород в сторону от р. Ангары не происходит.

Н.И. Соколов при оценке степени опасности карста для инженерных сооружений пришёл к выводу, что карст в районе статический, так как растворение пород идет очень медленно и затухает в сотнях метров от области питания карстовых вод, поскольку «вода, прошедшая по трещинам несколько сот метров, насыщается и теряет способность к дальнейшему растворению».

Н.А. Гвоздецкий также большое значение придает потере агрессивных свойств воды. По его мнению, наиболее интенсивные процессы закарстования доломитовой толщи приурочены к зоне проникновения в нее ангарских вод и смешения их с водами основного водоносного горизонта.

Приходится думать, что эти выводы сделаны без учёта химизма подземных вод района. На значительной площади Черемховского района карбонатные породы перекрыты угленосной толщей, в которой содержится значительное количество пирита. Окисление и гидратация последнего приводит к освобождению серной кислоты. Сульфатные воды угленосной толщи, фильтруясь в кембрийские отложения, не только сами растворяют карбонатные породы, но, смешиваясь с подземными водами карбонатной толщи, вызывают повышение агрессивности этих вод, так как сульфат-ион освобождает значительное количество свободной углекислоты из гидрокарбонатных вод. Кроме того, содержание агрессивной углекислоты повышается за счет углекислоты, ранее находившейся в воде, так как содержание ее, необходимое для поддержки карбонатов в растворе, в связи с переходом части щелочных земель в сульфатные соединения, понижается.

Процессы интенсивного карстования могут протекать в зоне смешения гидрокарбонатных вод, зоне интенсивной циркуляции и зоне глубинных напорных сульфатных солёных вод, вследствие повышения агрессивности вод при переходе их из гидрокарбонатных в сульфатные.

В связи со значительной трещиноватостью и закарстованностью карбонатных пород района этот процесс может иметь региональное значение.

Исходя из изложенного, можно с уверенностью сказать, что подземные воды междуречий имеют агрессивные свойства, мало чем отличающиеся от агрессивных свойств воды из зоны переменной циркуляции побережья рек.

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КАРСТА ПРИАНГАРЬЯ

При общей оценке карста рассматриваемой площади необходимо учитывать, кроме непосредственных наблюдений над карстом, весь комплекс процессов и явлений, способствующих карстованию пород. Главные из них: 1) свойства карстующихся пород, 2) история карста и 3) гидрогеология карстового района.

Свойства карстующихся пород рассматриваемого района определяются: 1) повышенной пористостью вследствие интенсивно протекающих процессов доломитизации известняков и, частью, вследствие выщелачивания легко растворимых минералов (гипс, ангидрит); 2) наличием трёх взаимно пересекающихся систем трещин; из них крутопадающие трещины северо-западного и северо-восточного направления и более или менее горизонтальные трещины слоистости и первичной отдельности. Эти трещины обеспечивают вертикальную и горизонтальную циркуляцию вод в карстовом массиве; 3) наличие ряда геологических структур второго и третьего порядка, к которым

приурочены зоны повышенной трещиноватости; 4) степенью растворимости пород.

Опытами Ф.Ф. Лаптева в институте ВОДГЕО установлено, что из среднекембрийских карбонатных пород доломитовые известняки растворяются быстрее по сравнению с известняками и доломитами. Растворимость пород повышается по мере увеличения крупности зёрен и понижается с увеличением содержания глинистых частиц. Средняя скорость растворения доломитов может быть принята равной слою 0,1 мм/год.

Большие работы по исследованию гидростойкости карбонатных пород бархатовского поля проведены в последнее время кафедрой аналитической химии Иркутского университета под руководством Н.А. Власова.

Опыты проводились в с. Бархатово с местной ангарской водой при скоростях фильтрации 12 м/сутки и 26 м/сутки для определения относительной скорости растворения и разрушения пород. Относительная скорость растворения породы вычисляется путём деления концентрации углекислых солей в воде, прошедшей через трубку с данной породой, на концентрацию углекислых солей в воде, прошедшей через навеску мрамора. Относительная скорость разрушения – отношение разницы весов тех же образцов до опыта и после опыта.

Результаты опытов приведены в таблице 1.

Из таблицы следует: 1) при повышении скорости фильтрации концентрация солей в воде понижается, что наблюдается и в природных условиях, но скорость разрушения пород повышается; 2) сильнее разрушаются известняки и доломитовые известняки, за ними следуют известковые доломиты и наименьшая скорость разрушения отмечается для чистых доломитов, но закономерность эта выдерживается не строго (обр. 2 и 5).

Для проверки лабораторных данных были проведены опыты в естественных условиях в р. Ангаре, а контрольные образцы в лаборатории подвергались действию воды, насыщенной CO_2 , кроме того, определялся коэффициент растворимости – толщина слоя породы (в см), разрушающегося в течение года при действии на него воды, имеющей предельное содержание связанной углекислоты при полном отсутствии свободной углекислоты. Результаты этих опытов приведены в таблице 2.

Из результатов опытов следует: 1) скорость разрушения пород в р. Ангаре и в воде, насыщенной CO_2 , в общем одинакова: 8 образцов показало большую разрушаемость в ангарской воде, 8 – в воде, насыщенной CO_2 , 2 образца разрушалось с одинаковой скоростью; 2) наибольшую разрушаемость показал кавернозный доломит в ангарской воде, за ним следует известковый мергель и известняк; 3) наибольший коэффициент растворимости показали крепкий доломит (№3 и №7), глинистый известняк (№14), известковый мергель (№16) и толстоплитчатый известняк (№17), но другие образцы подобных же пород показали наиболее низкие коэффициенты растворимости – доломит №2 и 7, известняк №18, известковый мергель №15.

Таблица 1

Относительная скорость растворения и разрушения карбонатных пород Бархатовского карстового поля (по Н.А. Власову и Л.А. Кузнецовой)

№№ п/п	Свиты, из которых взяты образцы	Минеральный состав породы			Относительная скорость растворения		Относительная скорость разрушения	
		Доломит	Кальцит	Магнезит	Скорость течения воды, м/сутки			
					12	26	12	26
1	Одинская	94,46	-	-	0,99	0,95	0,57	0,68
2	Холмушинская	96,12	1,62	-	0,97	0,96	1,02	1,20
3	Бодайская	96,00	2,30	-	0,98	0,97	-	-
4	Идинская	73,92	10,91	-	1,00	0,99	1,60	1,70
5	Бодайская	62,96	30,27	-	1,01	0,98	0,90	0,95
6	Бодайская	14,00	78,96	-	-	1,02	1,00	1,00
7	Бодайская	-	25,88	2,16	1,02	0,98	1,14	-
8	Бодайская	-	94,66	2,99	1,02	0,98	1,51	1,70

Таблица 2

Относительная скорость разрушения карбонатных пород в естественных условиях (в р. Ангаре) и воде, насыщенной CO₂, и коэффициент растворимости (γ) (по Н.А. Власову и Л.А. Кузнецовой)

№№ п/п	Порода	Нерастворимый остаток	Минеральный состав, %		Пористость, %	Относительная скорость разрушения			
			Доломит	Кальцит		растворения	разрушения		
							В воде, насыщенной CO ₂	В реке Ангаре	γ
1	Доломит крепкий	5,31	93,00	-	2,23	0,50	0,45	0,30	-
2	- « -	9,91	89,06	-	7,80	0,48	0,50	0,33	0,001
3	- « -	3,74	94,65	-	7,64	0,37	0,46	0,79	0,044
4	- « -	3,05	95,97	1,21	3,60	0,40	0,46	0,41	0,005
5	- « -	1,62	88,31	5,62	7,61	0,34	0,31	0,61	0,002
6	- « -	8,07	82,72	6,52	12,46	0,39	0,40	0,40	0,004
7	- « -	4,09	86,44	6,39	2,86	0,39	0,27	0,26	0,035
8	Доломит тонкоплитчатый	2,93	96,46	-	5,61	0,36	0,57	0,60	0,001
9	Доломит среднеплитчатый	4,64	91,58	3,18	12,14	0,47	0,40	0,89	0,009
10	Доломит толстоплитчатый	1,07	96,00	2,30	2,87	0,36	0,12	0,12	0,002
11	Доломит кавернозный	2,37	93,19	2,69	2,09	0,33	0,50	1,46	0,012
12	Доломит известковый	16,20	73,92	10,91	2,70	0,64	0,14	0,16	0,007
13	Доломит известковый	3,30	83,13	13,50	6,27	0,37	0,51	0,56	0,003
14	Глинистый известняк	25,97	-	71,41	5,18	0,98	0,98	0,84	0,037
15	Мергель известковый	73,20	-	25,10	2,56	1,18	0,80	0,71	0,009
16	Мергель известковый	70,86	-	25,82	15,20	1,02	1,14	1,24	0,039
17	Известняк толстоплитчатый	4,34	-	94,34	14,75	1,08	1,25	1,14	0,029
18	Известняк среднеплитчатый	1,54	-	95,58	22,05	1,03	1,07	1,02	0,004

Сопоставляя результаты опытов, приведенные в табл. 1 и 2, мы вынуждены прийти к выводу, что сколько-нибудь определенной закономерности в скорости растворения карбонатных пород Приангарья в зависимости от их состава нет. Это подтверждает наш вывод, что оценка степени закарстованности пород по свитам не имеет практического значения и только геолого-исторический метод исследования

может дать прочную основу для прогнозов степени закарстованности пород отдельных районов.

Карст Иркутского бассейна имеет длительную историю. Карстование пород началось вскоре после их отложения – уже во время среднекембрийского периода. Возможно, что с древними карстовыми процессами связана часть странных брекчиевидных пород, которые нередко встречаются в разрезе

карбонатной толщи, а также закарстованность глубоких горизонтов последней, установленная при бурении даже на глубине около 800 м, то есть в глубоких горизонтах зоны застойных вод. Перед накоплением юрской толщи процессы карстования протекали весьма интенсивно, в условиях влажного тёплого климата и хорошего дренирования, что подтверждается резко выраженным погребённым карстовым рельефом, к западинам которого приурочены залежи каолина.

В послелюрское время карстование могло протекать довольно интенсивно в связи с формированием долины р. Ангары. Карстовые формы, выраженные на поверхности, безусловно являются молодыми образованиями, так как формы поверхностного карста доледникового и ледникового времени полностью снівелированы золовыми и флювиогляциальными отложениями, а древние послеледниковые формы – делювиальными отложениями. Выполнение воронок рыхлыми отложениями протекает очень быстро, на что указывают кости домашних животных, погребённых в карстовых воронках под 18 метровой толщиной грунтов.

Гидрогеологический режим карбонатного массива способствует карстованию последнего, так как с нижнего палеозоя он не затапливался морем и в течение среднего кембрия, от силура до юры, мелового, части третичного и всего четвертичного периодов значительная часть его лежала в зоне циркуляции пресных и ультрапресных подземных вод. При выветривании юрских угленосных пород и просачивании воды через них в подземные воды поступало и поступает значительное количество серной кислоты, что способствует повышению агрессивности карстовых вод.

Переменная циркуляция воды в прибрежной части рек ведет к усилению карста в прибрежной зоне. Зоны повышенной закарстованности могут быть приурочены не только к современной прибрежной полосе, но и к цоколям многочисленных в долине р. Ангары террас.

При оценке закарстованности пород все авторы отмечают, что суглинистые и юрские породы, прикрывающие карбонатный массив, изолируют его от поверхностных вод и препятствуют развитию карста. При этом не учитывается два обстоятельства, что, во-первых, юрские отложения и суглинки имеют хорошую вертикальную проницаемость и, во-вторых, что процессы карстования не столько связаны с фильтрацией в зоне аэрации, сколько с фильтрацией в зоне стока, а подземный сток мало зависит от кроющих пород, поскольку в Черемховском районе он в основном приурочен к закарстованным карбонатным породам.

Выводы

Исходя из известного фактического материала и истории карста Черемховского района, мною была дана иная оценка его инженерно-геологического значения по сравнению с Н.И. Соколовым и Н.А. Гвоздецким: 1) карст имеет значительное развитие как в прибрежной части рек, так и на водораздельных массивах; 2) зона интенсивного карстования охватывает породы до глубины 70-80 м ниже местного базиса эрозии; 3) для гидротехнического строительства карст представляет

серьёзную угрозу, так как на ряде участков р. Ангары ниже р. Белой наблюдается постоянный ток воды из р. Ангары в карстовый массив. Понижение зеркала грунтовых вод прослежено на несколько километров от р. Ангары. Пути движения этих вод не установлены (мнение Гвоздецкого, что постоянной фильтрации воды из р. Ангары в карстовый массив не происходит, при разведке не подтвердилось: по подсчётам В.И. Астраханцева и Г.Б. Пальшина потери воды из р. Ангары на участке Буреть – Балаганск составляют до 430 м³/сек); 4) карст можно считать статическим лишь для недолговременных сооружений. Для вековых сооружений он должен рассматриваться как развивающийся карст. Доказательством последнего служит образование в особо дождливый 1932 г. новых пяти карстовых воронок на Ангаро-Бельском междуречье и двух небольших воронок на бечевнике р. Ангары у устья пади Качериковской Каменки, в которые уходила вода из р. Ангары.

ЛИТЕРАТУРА

- Билибин Ю.А. Об активной и пассивной вечной мерзлоте // Изв. гос. геогр. об-ва. - 1937. - Т. 69. - Вып. 3. - С. 409 – 411.
- Гвоздецкий Н.А. Карстовые явления в Приангарье // Уч. зап. МГУ. - 1953. - Вып. 160. - Т. 5. - Сер. геогр. - С. 151-167.
- Гольдфарб С.И. Солоненко, Виктор Прокопьевич – прославленный геолог и геофизик // Иркутск, Иркутск... Рассказы из истории старого города. - Иркутск: Агентство «Комсомольская правда - Байкал», 2007.
- Институт Земной Кора СО РАН. Научная школа В.П. Солоненко // Электронный ресурс: <http://www.crust.irk.ru/industry/school_solonenko.html>. Посещён 24 июля 2014 г.
- Короткоручко В.А. Фотоархив СО РАН // Электронный ресурс: <http://www.soran1957.ru/default.aspx?id=sv_et_10061611408_2340>. Посещён 24 июля 2014 г.
- Маслов В.П. Геология верховий рр. Лены и Киренги // Тр. Инст. Геол. наук АН СССР. - 1947 - Вып. 85. - Сер. геол. - №24. - 65 с.
- Одинцов М.М. Геологический очерк Тайшет-Братского района Восточной Сибири // Матер. по геол. и полезн. ископ. Вост. Сибири. - Свердловск-Москва: ОНТИ, 1937. - Вып. 16. - 64 с.
- Павловский Е.В., Цветков А.П. Западное Прибайкалье. Геолого-петрографический очерк Бугульдейско-Ангинского района // Тр. Геол. Инст. АН СССР. - 1938. - Т. 8.
- Пармузин Ю.П. Вопросы карстования Сибири // Изв. Всес. геогр. об-ва. - 1954. - №1. - С. 34-49.
- Ружич В.В. Учитель и его школа. Вспоминая В.П. Солоненко // Природа. - 2004. - Вып. 3. - С. 73-76.
- Солоненко В.П. Вечная мерзлота и подземные воды Ботогольского гольца // Тр. Инст. Мерзлотов. - 1952. - Т. 9.
- Солоненко В.П. Очерки по инженерной геологии Восточной Сибири. - Иркутск: Ирк. кн. изд-во, 1960. - 88 с.
- Черский И.Д. Отчёт об исследованиях Нижнеудинской пещеры // Изв. Сиб. Отд. РГО. - 1876. - Т. VII. - №2-3. - С. 78-112.