

РОЛЬ ВОДЫ в формировании КАРСТОСФЕРЫ НА ПРИМЕРЕ **ИРЕНЬ-СЫЛВЕНСКОГО** МЕЖДУРЕЧЬЯ

Известняки, доломиты, мергели, гипсы, ангидриты, соли на континентах занимают более 40 % площади, подвергаясь растворению и выщелачиванию, при этом образуются поверхностные и подземные карстовые формы, осложняющие хозяйственное освоение территорий.

Совокупность этих пород выделена в качестве карстосферы. Переход к устойчивому развитию требуют выявления закономерностей в системе вода – карстующаяся порода.

Введение

Учитывая большое значение карстовых процессов для безопасности жизнедеятельности, совокупность растворимых пород земной коры была выделена в качестве самостоятельной оболочки планеты, названной *карстосферой* [1]. Среди карстующихся пород преобладают карбонаты, составляющие по массе 1,7 % от веса земной коры. Наши исследования выполняются в регионах Урала и Приуралья. На схемах гидрогеологического районирования России эти регионы относятся к Уральской гидрогеологической складчатой области с классом трещинно-карстовых вод трещинно-жильного типа и к Восточно-Европейскому артезианскому бассейну с пластовым типом вод [2]. Карстующиеся хемогенные и хемогенно-обломочные породы имеют возраст от кембрийского до пермского и содержат трещинно-карстовые воды [3].

Наибольшую опасность карст представляет в районах, сложенных легко растворимыми гипсами и ангидритами с исключительно высокой интенсивностью процессов в условиях

техногенеза. Недоучет этих процессов обусловил крупные аварии на калийных предприятиях Березников и Соликамска, на месторождении каменной соли в Соль-Илецке, на железных дорогах, мостовых переходах, магистральных газопроводах и др. сооружениях и коммуникациях. Поэтому без изучения и учета карстовых процессов невозможен переход на устойчивое развитие.

Теоретические вопросы. Карст развит, в основном, в осадочной оболочке планеты. В карбонатитах земной коры карст пока не изучен. В вертикальном разрезе земная кора расчленена на геохимические и гидрогеохимические зоны [4]. Сверху вниз выделяются геохимические зоны гидрогенеза, галогенеза и метagenеза. В зоне гидрогенеза преобладают процессы перехода химических элементов из твердой фазы в раствор, и она расчленяется на гидрогеохимические зоны: 1) гидрокарбонатного, 2) сульфатного, 3) сульфатно-хлоридного, хлоридно-сульфатного и 4) хлоридного гидрогенеза [2]. В ниже расположенной зоне гидрогалогенеза [2] нами выделены три гидрогеохимические зоны: максимального, равновесного и унаследованного гидрогалогенеза. Зоне метagenеза соответствует гидрогеохимическая зона гидрометagenеза. Подземные карстовые формы зафиксированы на разных глубинах. Но наибольшее практическое значение карстовые процессы имеют в приповерхностной зоне планеты, где сосредоточена почти вся хозяйственная деятельность человека [5].

Показано [6], что в истории Земли различные коллекторы подземных вод (трещинные, поровые, карстовые и антропогенные)

А.Я. Гаев*,

доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГОУ ВПО Оренбургский государственный университет, директор, Институт экологических проблем гидросферы.

Ю.А. Килин,

кандидат геолого-минералогических наук, заведующий Отделом, Институт Пермгипроводхоз

*Адрес для корреспонденции: gayev@mail.ru

формировались на разных этапах развития земной коры. Наиболее древними являются азойские трещинные коллекторы первой суши с вулканическими конусами. В океане с мало минерализованными, слабокислыми водами хлоридного состава карбонатные отложения не могли формироваться, а в обломочных морских отложениях уже в архее формировался поровый тип коллекторов. С появлением на суше поровых коллекторов с поровым типом подземных вод временные потоки на континентах превратились в постоянные реки.

Из карбонатных отложений первыми были доломиты [7]. Они формировались химическим путем, выпадая из океанической воды в связи с изменением реакции среды и вне связи с аридизацией климата. В конце протерозоя с некоторой нейтрализацией вод океана появились хемогенные и органогенные известняки и хемогенные доломиты аридного типа. В рифее появились хемогенные лагунные доломиты аридного происхождения с прослоями гипсов и возросла роль органогенных известняков, образование которых связано с гумидными условиями. На палеозойско-кайнозойском этапе развития земной коры в аридных условиях формировались отложения галита, калийных и магниевых солей, появились седиментационно-диагенетические морские доломиты, и возросла роль гипсов. Авторы работы [6] в истории земной коры выделили карстовую гидрогеологическую эру, разделив ее на четыре периода: доломитовый, известняковый, гипсовый и соляной, заложив основы гидрогеологии карстосферы. В четвертичный период появляется антропогенный тип коллекторов с копаными колодцами и горными выработками, которые активизируют процессы формирования карстового ландшафта, поверхностных, подземных и глубинных карстовых форм. Карст из сезонного превратился в круглогодичный. Интенсивность процессов возросла на 2-3 порядка [8]. Наиболее грандиозными полостями стали рудничные и шахтные выработки, где разные типы вод преобразуются в воды антропогенных коллекторов, имеющие сообщение с приземной атмосферой.

Цель и задачи исследований. Для изучения системы вода — карстующиеся породы был намечен переход на крупномасштабные эколого-геологические исследования карстосферы с методическими разработками и составлением альбомов эколого-геологических карт в наиболее напряженных по

И.И. Минькевич,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры динамической геологии и гидрогеологии, ФГОУ ВПО Пермский государственный университет

техногенной нагрузке районах с созданием опорных полигонов. Предусмотрены натурные экспериментальные исследования с использованием метода стандартных образцов. Результаты предназначены для расчета показателей интенсивности растворения породы в зависимости от воздействия различных факторов.

Натурные и экспериментальные исследования. Классическим районом развития карста является Уфимское плато и, в частности, Ирень-Сылвенское междуречье (рис. 1). Плато имеет мощность зоны вертикальной циркуляции до 200 м, зоны сезонных и многолетних колебаний уровня грунтовых вод до 20 м с четырьмя подвешенными горизонтами, играющими роль емкостного регулятора ресурсов карстовых вод и зоны горизонтальной циркуляции до 80 м, контролируемой переуглубленным древним, неогеновым руслом р. Уфа. За счет вод зоны сифонной циркуляции формируются мощные восходящие источники (Красный Ключ, Сарва, Тюба и др.), выходящие из карстовых колодцев и пещер. Модули подземного стока достигают весной $78 \div 300$ л/сек • км², составляя в среднем $15,3 \div 16,2$ л/сек • км². Модуль подземного стока почти на порядок выше у реки, чем на водоразделе. HCO₃Ca воды с минерализацией 400÷580 мг/л в центре плато сменяются к периферии на SO₄Ca с минерали-

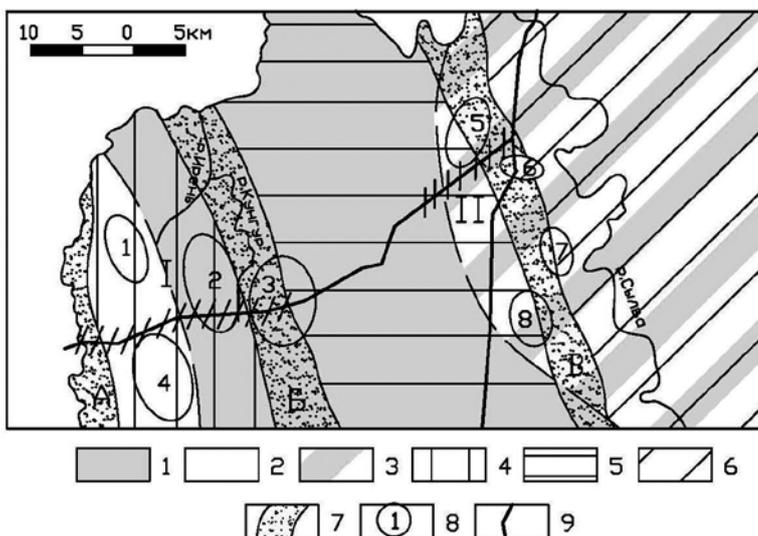


Рис. 1. Схема гидрогеологического районирования территории трассы газопровода по степени карстоопасности. Карстово-гидрогеологическая область Уфимского плато (составлена авторами по материалам работы [11]).

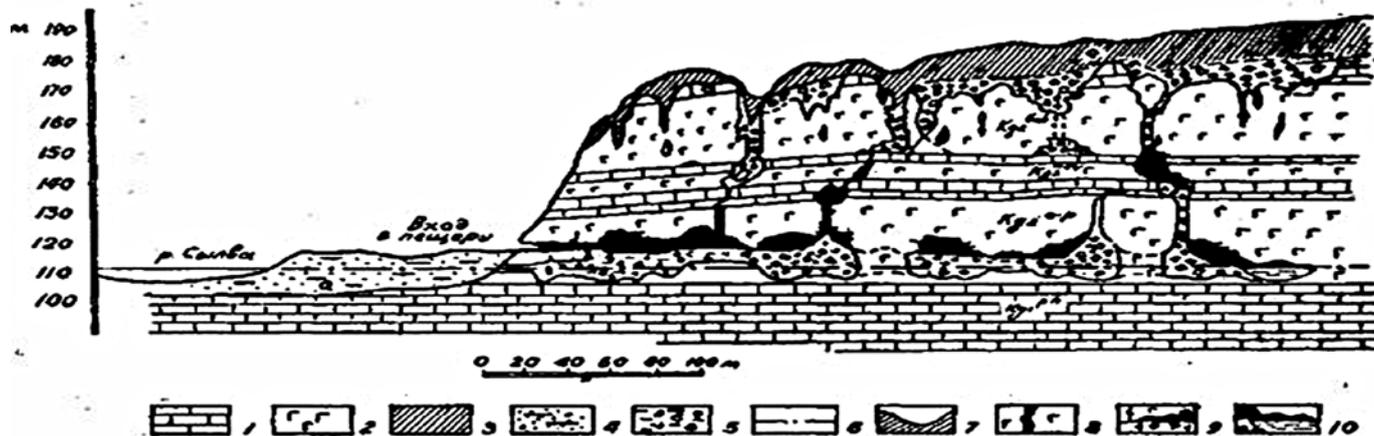


Рис. 2. Геологический разрез Ледяной горы (по [10]).

1 — доломиты и известняки; 2 — гипсы и ангидриты; 3 — глинистые отложения; 4 — речные песчаные отложения; 5 — обваловые глыбово-глинистые отложения; 6 — уровень подземных вод; 7 — карстовые воронки; 8 — вертикальные трубы; 9 — подземные полости; 10 — подземное озеро.

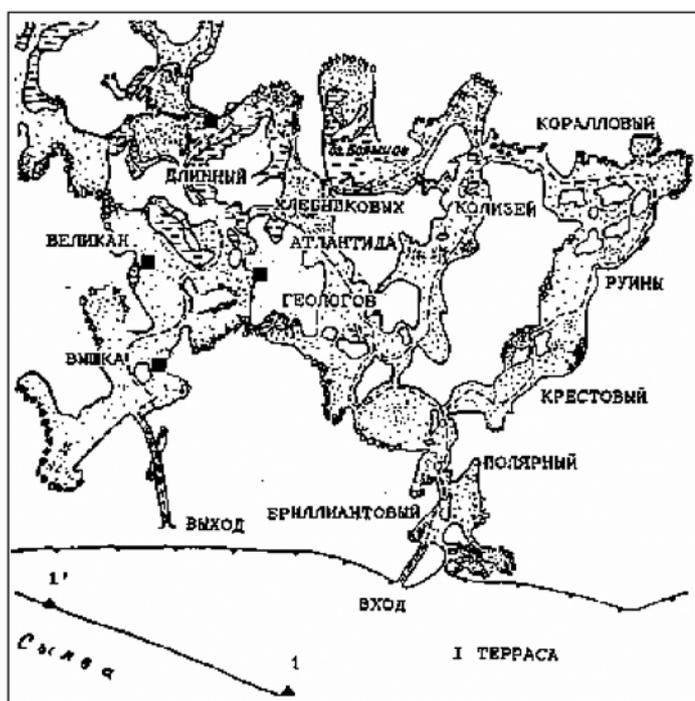


Рис. 3. План Кунгурской пещеры.

1 - контуры гротов и останцы;
2 - обваловые и осыпные отложения;
3 - озера и органые трубы;
4 - туристическая тропа;
5 - места заложения образцов.

0 50 100 м

зацией 1500÷2700 мг/л. На глубине 200 м сформировались воды сульфатного состава. Величина карстовой денудации достигает 45 м³/год•км², возрастая в бассейне р. Ар до 1170 м³, что соответствует 4-му классу (0,045 %) активности карста [6]. Развита воронки, поноры, карры, ниши, пещеры, трещины, каверны. Типичны карстовые реки. Так, р. Ясыл имеет мешкообразную долину; истоки ее начинаются небольшим родником, затем вода несколько раз исчезает и появляется вновь на поверхности земли. Известны и карстовые ручьи, вытекающие из пещер, неоднократно исчезающие до впадения в р. Ирень. Количество карстовых воронок на Красноясыльском поле площадью 19 км² составило 2537 [9].

Карстовые воронки образуют цепочки. Формами сульфатного карста служат также эрозионно-карстовые депрессии с поперечником ≥ 1 км, вытянутые вдоль восточного крыла Уфимского вала (Низковская, Мазуевская, Суксунско-Советинская). В регионе имеется всемирно известная Кунгурская ледяная пещера и крупный Ординский карстовый сифон. Плато пересекается железными дорогами и трансконтинентальными газопроводами. Только разных коммуникаций (магистральных и местных трубопроводов диаметром до 1420 мм, железных и шоссейных дорог) на междуречье проложено десятки тыс. км.

Результаты натурных экспериментальных исследований получены с использованием метода стандартных образцов. Растворение гипса протекает активнее кальцита, что позволяет рассчитать показатели интен-

сивности растворения породы в зависимости от воздействия различных факторов. Образцы стандартизированы по литолого-текстурному фактору и размещены на ряде станций с типовыми условиями взаимодействия воды с породой. Они изготовлены из плотных скрытокристаллических пород без включений и трещин в форме таблеток диаметром 40÷45 мм, толщиной 7÷8 мм, весом 18÷25 г. В контакте с родниковыми водами использованы более крупные образцы. Сначала они были установлены на 50 станциях и 5 опытных участках, а после пятилетних наблюдений исследования продолжены на 38 станциях 5 опытных участков. Кунгурская пещера в сульфатных породах оказалась хорошей натурной лабораторией для исследования растворимости гипсов и ангидритов. В ней осуществлялись также ежемесячные наблюдения за параметрами вод, атмосферы и пород (рис. 2). Моделируемые здесь процессы максимально приближены к природным условиям. Изучалась относительная скорость растворения образцов гипсов и ангидритов с предварительным анализом их минерального состава, структуры, текстуры, наличия примесей. Образцы помещались в атмосферу, на поверхность земли, на почву и в пещеру. Изготовлено 35 плиток размером 5 x 5 x 1,5 см из гипса и ангидрита иренского горизонта кунгурского яруса верхней перми, взятых из обнажений вблизи д. Посад, пос. Полазна, из керна скв. с. Усть-Кишерть и г. Кунгур, а также из Кунгурской ледяной пещеры.

Состав образцов был уточнен рентгено-структурным анализом и в шлифах. Плитки были установлены также у с. Усть-Кишерть, на метеостанции г. Кунгур и в с. Платошино. В пещере плитки были помещены в гротах Длинный, Кастере-Лукина, Дружба (в подземном озере и в воздухе) (рис. 3). Режимными наблюдениями установлено, что минерализация воды в озерах изменялась от 2,0 до 2,7 г/л, содержание сульфатного иона — от 1,3 до 1,7 г/л. Образцы взвешивались перед установкой и после двухдневного высушивания при комнатной температуре (рис. 4). За 8 лет образцы потеряли в весе от 27,5 до 51 %. С повышением минерализации на поверхности озера появились пятна и пленка из кальцита, включающие редкие кристаллы гипса. Температура воды составила 3,0÷4,4 °С, воздуха — 2,9÷4,4 °С. Эти параметры обусловлены сезонными изменениями, связанными с периодами весеннего паводка на р.

Ключевые слова:
карстосфера,
система вода —
карстующиеся
породы,
карстовые
формы,
растворение,
выщелачивание

Сылва и осенней инфильтрации атмосферных осадков в карстовый массив. В паводок минерализация и содержание сульфат-иона снижаются в результате смешения с речными водами, а зимой несколько повышаются. Поверхность образцов гипса (II) за первые 2-3 года при высыхании покрылась мучнистым налетом, несколько выступил прожилок серого цвета. Ангидрит с гипсом (I) был осложнен микрокаррами. На образцах ангидрита с доломитом (III) отмечены каверны с поперечником 1÷3 см и глубиной 2÷5 мм. В дальнейшем рельеф поверхности образцов стал контрастнее. При низкой температуре в сульфатных водах относительная скорость растворения ангидрита с доломитом (III) оказалась в 1,7 раза больше, чем гипса (II). Процессы их растворения носят сезонный характер и зависят от дефицита насыщения воды сульфатом кальция. Денудация образцов за 373 сут составила, соответственно: I — 75, II — 50, III — 110 мг/см²/сут 10⁻³.

Растворение плиток происходило при медленном движении воды при температуре воды в озере 3,6÷4,0 °С и температуре воздуха 3,4÷4,4 °С. Поверхность озера покрылась пленкой из кальцита с включением единичных кристаллов гипса. Результаты экспериментов позволили уточнить ряд важных вопросов в гидрогеологии массивов сульфатных пород.

Моделирование и обсуждение результатов. Подземная карстовая денудация и химический сток подчиняются закономерностям широтной гидрогеохимической зональности и высотной поясности и их масштабы наиболее значительны в гумидной зоне с тенденцией уменьшения общей подземной химической денудации с севера на юг, что видно на примере регионов Урала и Приуралья (рис. 5) [2]. Модуль подземного химического стока в этих регионах изменяется от 20÷50 т/км² в год в таежных и лесостепных районах, до 1÷10 т/км² в юго-западных районах Волго-Уральского междуречья. И только в гипсово-соленосной толще Западного склона Урала модуль возрастает до 100 т/км² и более в год. Высотная поясность также осложняет широтную зональность. Она проявляется уже на возвышенностях платформы, но особенно контрастно — на горно-складчатом Урале.

Гидрогеология карстосферы является фундаментальной наукой о подземной гидросфере карстовых массивов, изучающая процессы трансформации равновесно-не-

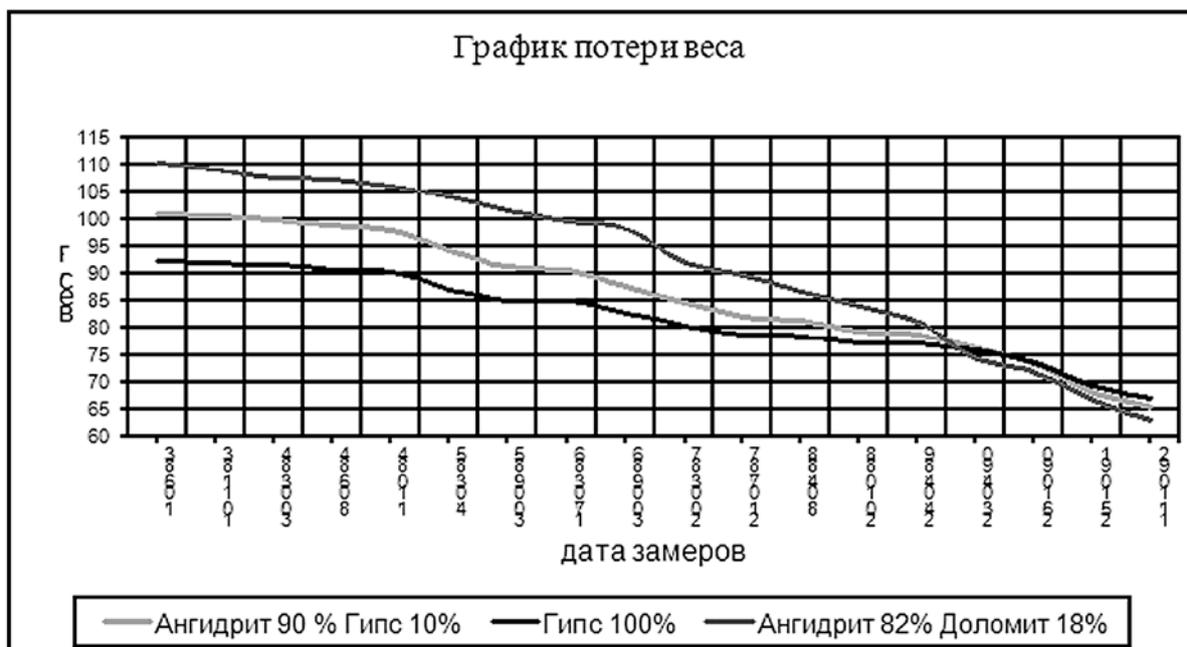


Рис. 4. Результаты режимных наблюдений в Кунгурской пещере по взаимодействию карстовых вод подземного озера и пещерного воздуха с плитками карстующихся пород, помещенных в гротах Длинный, Кастере-Лукина, Дружба [10]

равновесной системы вода – карстующаяся порода. Эти процессы изучаются на основе комплексных лабораторных, натуральных исследований и путем создания опорных полигонов.

Красноясыльский полигон создан с участием авторов на участке Ужгородского коридора трансконтинентального газопровода в Пермском крае. На полигоне имеются

участки эксплуатируемых производственных коммуникаций и сформированы базы данных для прогноза условий эксплуатации аналогичных объектов. Полигон служит объектом опытно-методических работ по освоению карстосферы. В районе полигона сформировался карстовый ландшафт с поверхностными, подземными и глубинными карстовыми формами, осложняющими строительство и эксплуатацию инженерных сооружений и коммуникаций [11]. На полигоне коммуникации представлены шестью

Таблица 1
Параметры карстового процесса в различных гидродинамических зонах (Верхнелозьвинско-Карпинский район)

Воды, гидродинамические зоны и их мощность, м	Минерализация вод, мг/л	Объем химического транзита, т/км ² в год	Интенсивность (относит. модуль) карстового процесса, т/км ² в год на 1 м
Метеорные воды	29,3	1,8	-
Аэрации, 135	80,9	5,6	0,042
Колебаний уровня грунтовых вод, 10	105	7,3	0,730
Постоянного горизонтального стока, 25	142	9,8	0,392

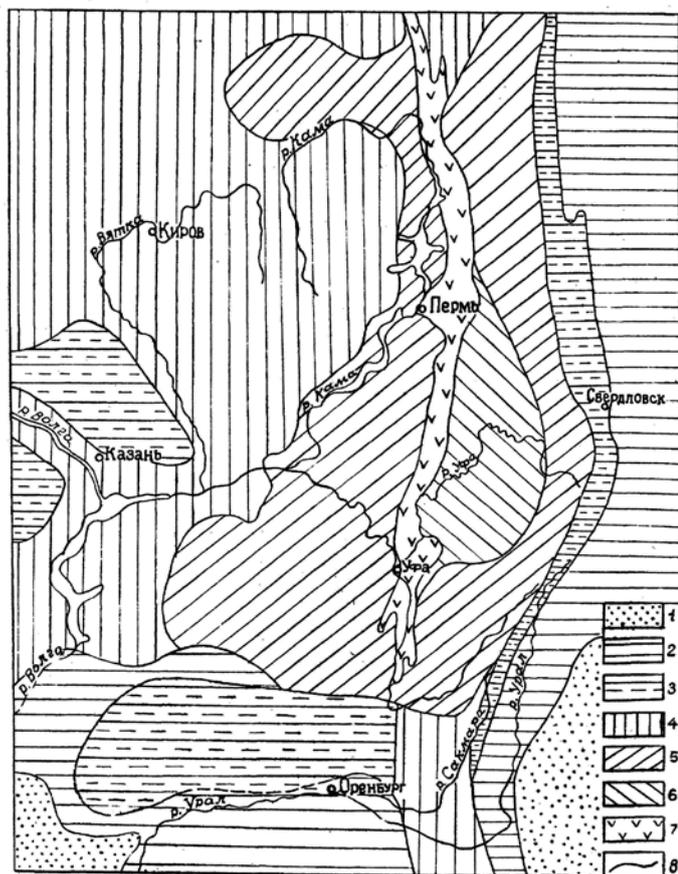


Рис. 5. Схематическая карта взаимодействия в системе вода - порода в регионах Урала и Приуралья (т/км² в год) [2].

1 — очень слабое (1÷10); 2 — пониженное (10÷20); 3 — среднее, участками пониженное (10÷30); 4 — среднее (20÷50); 5 — повышенное, участками среднее (20÷70); 6 — повышенное (до 100); 7 — весьма повышенное (≥ 100); 8 — границы зон с различным уровнем проявления взаимодействия в системе вода - порода.

нитками трансконтинентального газопровода с трассой шириной в 200 м и диаметром труб в 1420 мм. Здесь в условиях техногенеза карст превратился из сезонного в круглогодичный, при этом интенсивность его возросла на 2÷3 порядка [12]. За счет карстовых процессов на полигоне существенно изменился рельеф и облик местности, начали формироваться различного масштаба понижения. В районе полигона они представлены от суходолов, логов и мульд оседания до котловин и польев с размерами до 10 км и более [3]. Под сооружениями и коммуникациями формируются также карстовые пустоты и провалы, обуславливающие аварии на газопроводах. Аналогичные процессы в регионе наблюдаются на железных дорогах, шахтах и мостовых переходах через реки.

Для прогноза подземных карстовых форм эффективным оказался комплекс геолого-геофизических, гидрогеохимических и дис-

танционных методов. Нами установлено, что в зоне сезонных и многолетних колебаний уровня грунтовых вод карст протекает в 3÷8 раз интенсивнее, чем в поверхностных условиях и в зоне постоянного горизонтального стока (табл. 1). В карстовом массиве одновременно идут два противоположных процесса — активное формирование и старение спелеосистем с заполнением карстовых полостей (рис. 6) [6]. Карстовые депрессии, котловины, лога и суходолы формируются вдоль тектонически ослабленных зон земной коры и при высокой физико-химической неустойчивости пород превращаются в ядра слабо изученных элементов неоландшафта — мульд оседания и растяжения, которые представляют основную опасность для пересекающих их трубопроводов (рис. 7, 8).

Бортовые зоны карстовых депрессий, котловин, логов, суходолов часто бывают широкими с пологими задернованными склонами и блюдцеобразными воронками. Но на отдельных участках они приобретают обрывистый характер из-за более энергичных неотектонических поднятий, особенно в приводораздельной части. По бортам долин рек нередко фиксируются трещины бортового отпора шириной до 2 м и глубиной до 3 м и более. Из цепочек слившихся карстовых воронок нередко формируются слепые эрозионно-карстовые лога.

Бортовые зоны карстовых депрессий, котловин, логов, суходолов часто бывают широкими с пологими задернованными склонами и блюдцеобразными воронками. Но на отдельных участках они приобретают обрывистый характер из-за более энергичных неотектонических поднятий, особенно в приводораздельной части. По бортам долин рек нередко фиксируются трещины бортового отпора шириной до 2 м и глубиной до 3 м и более. Из цепочек слившихся карстовых воронок нередко формируются слепые эрозионно-карстовые лога.

Совокупность карстово-суффозионных и эрозионно-тектонических процессов оказывает большое влияние на формирование рельефа и при существенных изменениях линии профиля по трассе газопровода может оказать интенсивное деформирующее воздействие на такие линейные жесткие коммуникации, как трубопроводы большого диаметра (1420 мм). Результаты наших гидрогеологических исследований и разработанные модели могут эффективно использо-

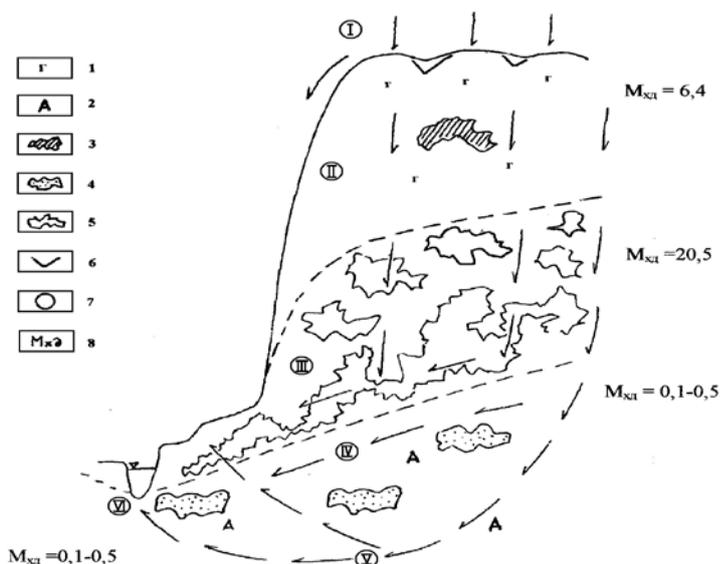


Рис. 6. Гидродинамическая модель образования карстовых форм.

1 — гипсы; 2 — ангидриты; 3 — открытые подземные карстовые полости; 4 — карстовые полости, заполненные или частично заполненные продуктами обрушения кровли; 5 — карстовые полости, заполненные или частично заполненные продуктами аккумуляции типа терра-росса; 6 — участки площадных деформаций поверхности земли над карстующимися породами; 7 — гидродинамические зоны карстовых вод: I — поверхностной циркуляции, II — вертикальной нисходящей циркуляции (аэрации), III — переходная, IV — горизонтальной циркуляции, V — сифонной циркуляции, VI — поддолинного стока; 8 — модуль химической денудации и его значение в t/km^2 в год.

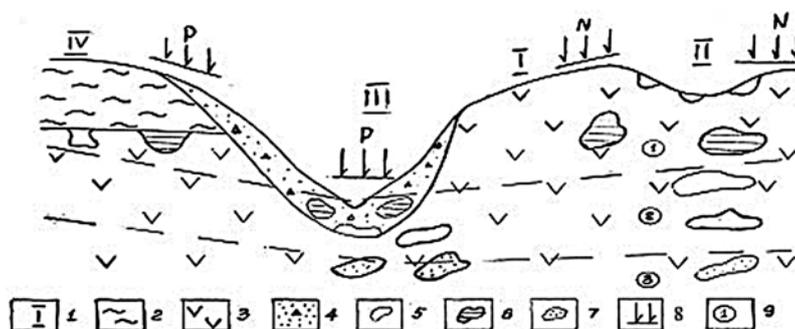


Рис. 7. Модель формирования карстовых процессов в зонах сосредоточения поверхностного и подземного стока:

1 — типы карста по [?]: I — голый, II — задернованный, III — подэлювиальный и подальвиальный, IV — закрытый; 2 — песчаники, алевролиты; 3 — гипсы и ангидриты; 4 — пески, гравий, щебень, суглинки; 5 — открытые подземные карстовые полости; 6 — карстовые полости, заполненные или частично заполненные продуктами обрушения кровли; 7 — карстовые полости, заполненные продуктами аккумуляции типа терра-росса; 8 — участки площадных деформаций поверхности земли над карстующимися породами; P — мулда оседания; N — деформации оседания-обрушения; 9 — гидродинамические зоны карстовых вод: 1 — вертикальной (нисходящей) циркуляции, 2 — переходная, 3 — горизонтальной циркуляции.

ваться при создании единого информационного пространства с целью осуществления сквозного геоэкологического мониторинга карстовых районов. По данным мониторинга и моделирования карстового объекта можно объективно оценить состояние окружающей среды и степень устойчивости инженерных сооружений.

Заключение

Изучены региональные гидрогеологические закономерности формирования карстосферы на примере регионов Урала и Приуралья, учет которых позволяет значительно снизить риски хозяйственного освоения территории, строительства и эксплуатации инженерных сооружений и коммуникаций. На основе этих закономерностей предложена схема гидрогеологического районирования и осуществлено среднемасштабное гидрогеохимическое картографирование районов развития классических форм карста. Учтено влияние гидрогеологической зональности и высотной поясности на интенсивность проявления карстовых процессов в различных гидрогеологических условиях, разработаны рекомендации по предотвращению негативного влияния карстовых процессов на хозяйственные объекты.

Задачи гидрогеологии карстосферы эффективно решаются на основе комплексных исследований на опорных полигонах. Создан Красноярский полигон, где имеются эксплуатируемые инженерные сооружения и коммуникации. Установлено, что процессы в системе вода — карстующаяся порода зависят от типа карста, принадлежности к конкретной ландшафтно-климатической зоне, высотной поясности и глубины циркуляции вод, а также от минерального состава пород, гидрогеологических условий, состава и минерализации вод, температурного и гидродинамического режима.

Подземный карстовый процесс и химический сток подчиняются закономерностям вертикальной и широтной гидрогеохимической зональности и высотной поясности с тенденцией уменьшения общей подземной химической денудации с севера на юг от $20-50 t/km^2$ в год в таежных и лесостепных районах, до $1-10 t/km^2$ в юго-западных сухостепных районах Волго-Уральского междуречья. Наиболее интенсивно карст развивается в зоне сезонных и многолетних

колебаний уровня грунтовых вод на участках унаследованных неотектонических поднятий и, особенно, в условиях техногенеза. В условиях техногенеза интенсивность карстовых процессов возрастает на 2-3 порядка за счет превращения этих процессов из сезонных в круглогодичные с большими энергопотерями в карстовый массив, а также в связи с ростом средней температуры среды, разрыхлением пород при строительстве и повышением скорости движения вод к зонам их сосредоточения. Изучение растворимости карстующихся пород в лабораторных и натуральных условиях пещеры обеспечивает разработку пространственных геолого-геофизических и геоэкологических моделей проявления карста и позволяет перейти к управлению рисками на основе систем мониторинга, формирования банков данных и единого информационного пространства и, в итоге, обеспечивает перевод сооружений и коммуникаций на модель устойчивой безаварийной эксплуатации.

Литература

1. Маруашвили Л.И. Карстосфера, ее размеры и отношения к другим геосферам // Сообщ. АН Грузинской ССР. 1970. Т. 57. № 2. С. 112.
2. Гаев А.Я. Гидрогеохимия Урала и вопросы охраны подземных вод. Свердловск: Изд-во Урал ун-та, 1989. 368 с.
3. Катаев В.Н. Основы структурного карстования. Уч. пособие по спецкурсу. Пермь: Изд. Перм. ун-та. 2004. 143 с.
4. Максимович Г.А. Гидрогеохимические зоны платформы // Химическая география и гидрогеохимия. Пермь, 1964. Вып. 3(4). С. 101–120.

5. Карст и его влияние на освоение территорий / В.М. Кутепов, И.А. Парабучев, Ю.А. Килин // Мат. международного симпозиума «Карстология-XXI век: теоретическое и практическое значение». Пермь: Изд-во Перм. ун-та. 2004. С. 192-198.
6. Максимович Г.А. Основы карстологии: Учебное пособие. Т. 1. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1963. 444 с.
7. Страхов И.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. 3. 550 с.
8. Абдрахманов Р.Ф. Карст Башкортостана / Р.Ф. Абдрахманов, В.И. Мартин, В.Г. Попов, А.П. Рождественский, А.И. Смирнов, А.И. Травкин. Уфа: Информреклама, 2002. 384 с.
9. Горбунова К.А. Карст и пещеры Пермской области / К.А. Горбунова, В.Н. Андрейчук, В.П. Костарев, Н.Г. Максимович. Пермь: Изд. Перм. ун-та, 1992. 200 с.
10. Гаев А.Я. О методологии и методике гидрогеологических исследований карстовых процессов. Карстовые системы Севера в меняющейся среде / А.Я. Гаев, Ю.А. Килин, И.И. Минькевич, Н.С. Алферова, И.Н.Алферов // Сб. тезисов Междунар. конф., посвященной 100-летию со дня рождения М.В. Ломоносова. Голубино-Пинега, Архангельской обл., 2011. С. 36-38
11. Килин Ю.А. О количественной оценке карстового процесса / Ю.А. Килин, И.И. Минькевич // Геол. и полезные ископ. Зап. Урала: мат. регион. НПК. Пермь: Изд-во ПГУ, 2004. С. 266-273.
12. Быков В.Н. Нефтегазовое карстование. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2002. 351 с.



A.Ya. Gaev, Yu.A. Kilin, I.I. Min'kevich

CONSIDERATION OF WATER PART IN KARST-FORMING USING EXAMPLE OF IREN'-SYLVENSKOE INTERSTREAM AREA

Limestones, dolomites, marls, plasters, anhydrites and salts are occupying more than 40% of continent area and exposed by dissolution and desalination that leads to formation of surface and underground karst forms which complicate property development. Total of karst forms is called karstsphere. Stable property development requires discovering of regularities of water – karst-forming rock system.

Key words: karstsphere, water – karst-forming rock system, karst forms, dissolution, desalination