

Сравнительный анализ закономерностей формирования подземных вод в аридной зоне и криолитозоне

В.Н.ОСТРОВСКИЙ (ВСЕГИНГЕО)

Аридная зона и криолитозона занимают около половины суши. Они отличаются экстремальными климатическими условиями, вызванными в аридной зоне недостатком влаги, и в криолитозоне — тепла, что неблагоприятно для формирования подземных вод. На первый взгляд гидрогеологические условия в аридной зоне и криолитозоне настолько различны, что исключают любые аналогии. Однако, как известно, крайности сходятся. Попытаемся найти то общее, что характерно для формирования подземных вод в аридной зоне и криолитозоне.

Автор статьи в течение многих лет изучал гидрогеологические проблемы аридной зоны [26]. В последние годы он столкнулся с гидрогеологическими проблемами в криолитозоне, ознакомившись с которыми пришел к выводу о том, что ряд гидрогеологических закономерностей в аридной зоне и криолитозоне имеют определенную общность, вызванную суровостью климатической обстановки.

Сопоставление формирования подземных вод в аридной зоне и криолитозоне — предварительное, но несомненно, что в экстремальных условиях в природе вырабатываются механизмы, существенно различающиеся по физико-химическим и другим особенностям и приводящие к сходным конечным результатам. Отсюда возникает возможность аналогий.

Следует отметить, что гидрогеологическая изученность аридной зоны на несколько порядков выше, чем криолитозоны. Так, территория аридной зоны бывшего СССР почти полностью покрыта гидрогеологической съемкой масштаба 1:200 000. Разведаны многие сотни крупных месторождений подземных вод, что дало возможность решить проблемы водоснабжения в районах, где это ранее казалось невозможным.

В криолитозоне России, занимающей более половины ее территории, гидрогеологическая съемка проведена лишь на ограниченных площадях, а число разведанных месторождений пресных подземных вод немногочисленно. Создается впечатление, что криолитозона России в основном представляет собой огромное белое пятно на гидрогеологической карте, что затрудняет сравнительный анализ и делает его в ряде случаев недостаточно представительным.

В данной статье автор преимущественно сравнивает закономерности формирования подземных вод в аридной зоне и криолитозоне применительно к равнинно-платформенным, в значительно меньшей степени к горно-складчатым регионам.

Сопоставляются главным образом гидрогеологические характеристики и процессы, типичные для аридной и экстрааридной зон (по П.Меджесу [25]) и для территории со сплошным распространением многолетнемерзлых пород.

Сравнительный анализ включает и сопоставление типов формирования подземных вод, основных закономерностей

распространения, питания, разгрузки, формирования химического состава подземных вод, особенностей эколого-гидрогеологических условий.

Типы формирования подземных вод характеризуют глобальные закономерности массо-энергообмена в подземной гидросфере [19]. Они зависят от положения регионов в системе климатической зональности Земли и геолого-структурных факторов.

В пределах аридной зоны и криолитозоны выделяются соответственно аридный и мерзлотный типы формирования подземных вод. Оба типа характеризуются слабой интенсивностью процессов массо-энергообмена в верхней части подземной гидросферы.

Аридный тип формирования подземных вод подразделяется на два подтипа: автохтонный и аллохтонный. При автохтонном подтипе подземные воды образуются в основном за счет водного потенциала аридных территорий *in situ*, в основном атмосферных осадков. Аллохтонный подтип характеризуется формированием подземных вод не только за счет атмосферных осадков, выпадающих в аридных регионах, но и притока поверхностных вод из ограничивающих пустыни хорошо увлажненных горных территорий, приуроченных к областям интенсивного проявления неотектонических движений. Таким образом, размещение территорий с автохтонным и аллохтонным подтипами подземных вод контролируется тектоническими факторами.

В криолитозоне подтипы формирования подземных вод не выделяются. Здесь воздействие тектонических факторов на подземные воды проявляются значительно менее контрастно, чем в аридной зоне. Это связано с тем, что в горных сооружениях развивается мощная многолетняя мерзлота, ограничивающая водообмен в системе горы—равнины.

Распространение подземных вод. В обеих рассматриваемых зонах в первых от поверхности водоносных горизонтах преобладают локальные скопления пресных подземных вод в аридной зоне преимущественно в виде линз, криолитозоне — в виде таликов [5, 14].

В аридной зоне при аллохтонном подтипе формирования подземных вод значительно распространены региональные потоки подземных вод, формирующиеся в основном на предгорных равнинах и в межгорных впадинах — Каракумский, Чу-Таласский и другие бассейны [5, 23]. Такие потоки преимущественно обеспечивают питание водоносных систем артезианских бассейнов, но происходит это непостоянно.

Общее для криолитозоны и аридной зоны — широкое распространение реликтовых вод, сформировавшихся в предшествовавшие климатические эпохи. В аридной зоне реликтовые подземные воды образовывались в так называемые плейстоценовые эпохи, приуроченные к периодам мак-

симального развития материкового оледенения в более северных широтах. Эти воды хорошо изучены, особенно на Ближнем Востоке, в Аравии и Северной Африке. Так, в подземных водах водоносных меловых горизонтов, нубийских песчаников Сахары, выявлены значительные скопления пресных подземных вод, возраст которых составляет несколько десятков тысяч лет [26]. Аналогичные скопления подземных вод обнаружены в четвертичных водоносных горизонтах Аравийского полуострова [25], песчаной пустыне Каракум и других аридных и экстрааридных территориях [5, 14].

В криолитозоне значительная часть воды, находящаяся в мерзлом состоянии, также является реликтом предшествующих эпох. Характерны так называемые возрожденные подземные воды, образовавшиеся за счет таяния древних льдов в южных регионах Сибири [21].

Можно сделать вывод, что для аридной зоны и криолитозоны характерна консервация гидрогеологической обстановки предшествующих эпох, чему способствует замедленность водообмена.

Аридная зона и криолитозона контрастны также по направленности гидрогеологических процессов, по крайней мере в течение голоцена и плейстоцена. Ряд исследователей отмечает связь пльвиальных эпох в аридных регионах с периодами максимального развития оледенения. Так, согласно Edgell, 1990 [25] на Аравийском полуострове в пустыне Руб-Эль-Хали в течение голоцена (до 17 тыс. лет) наблюдалась аридная и супераридная эпохи. В это же время, согласно Э.Д.Ершову [8], в криолитозоне отличается климатический оптимум, сопровождающийся значительным смещением границы криолитозоны СССР к северу.

В период похолодания в верхнем плейстоцене (17—36 тыс. лет) в Руб-Эль-Хали наблюдалась пльвиальная эпоха, отличающаяся интенсивным питанием подземных вод. В аналогичный период в криолитозоне СССР отличались наращивание мощности и площади распространения многолетнемерзлых пород. Проблема изучена недостаточно и сопоставительные цифры нуждаются в уточнении, но то, что климат по-разному сказывается на формировании подземных вод в аридной зоне и криолитозоне не подлежит сомнению.

Закономерности питания подземных вод в аридной зоне и криолитозоне имеют определенное сходство. Главным, по мнению автора, является весьма существенная роль в питании подземных вод поверхностного стока. В аридной зоне преобладающая роль в питании подземных вод принадлежит фильтрационным потерям речных и ирригационных вод, что наиболее ярко проявляется в аридных пустынях. Например, республика Узбекистан, где согласно данным Н.Н.Ходжибиева [23], за счет фильтрации речных и ирригационных вод формируется около 86,5% естественных ресурсов подземных вод республики, составляющих суммарно $529 \text{ м}^3/\text{с}$.

Распределение областей питания подземных вод в Узбекистане и других аридных регионах Центральной Азии в итоге обусловлено тектоникой, т.к. основной объем поверхностного стока формируется в горных массивах, образованных неотектоническими движениями.

В экстрааридных пустынях Северной Африки, Аравии и других регионов, где практически отсутствуют постоянные реки, основная роль в восполнении ресурсов подземных вод принадлежит стоку. Инфильтрация атмосферных осадков, которая в основном происходит в песчаных

пустынях, как правило, не приводит к образованию крупных месторождений пресных подземных вод.

Разумеется, автор не отрицает огромную роль артезианских вод в решении водных проблем аридных регионов, но следует помнить, что эти воды сформировались главным образом за счет фильтрации поверхностного стока в современное время или в голоцен-плейстоценовые пльвиальные эпохи.

Однако на существующих картах модули подземного стока в криолитозоне, по нашему мнению, существенно занижены, т.к. они рассчитывались для всей площади бассейнов стока без учета того, что значительная часть зоны свободного водообмена заморожена и не участвует в подземном стоке. Как будет показано далее, активный водообмен происходит преимущественно в локальных зонах, охватывающих лишь часть площади водообмена бассейнов. Площади этих зон не определены.

Рассмотрим кратко источники питания подземных вод. Согласно мнению большинства исследователей [5, 13, 16, 17], подземные воды в криолитозоне питаются за счет инфильтрации атмосферных осадков и восходящей фильтрации подземных вод из нижележащих водоносных горизонтов, конденсации атмосферной влаги и фильтрации поверхностных вод. Оценим возможную роль этих источников в питании подземных вод.

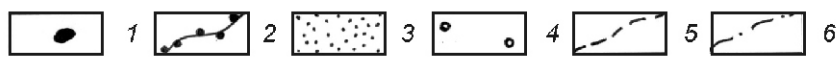
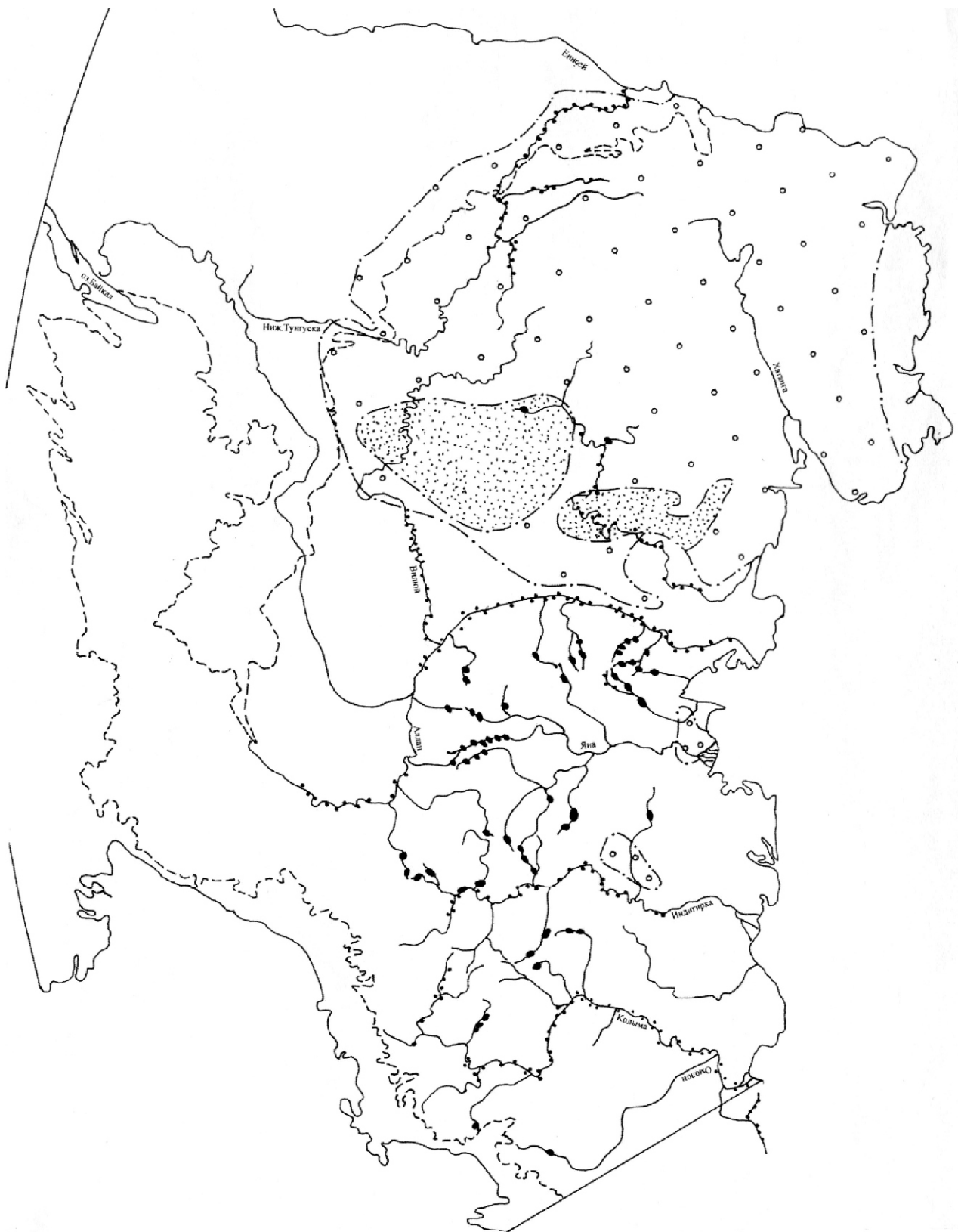
Инфильтрации атмосферных осадков на подавляющей части территории препятствует региональное распространение криогенных водоупоров. Этот фактор играет определяющую роль в формировании вод сезонно-талого слоя, ресурсы которых невелики [13, 22].

Восходящая фильтрация, несомненно, имеет важное значение в питании таликовых вод и образовании наледей. В значительной степени она контролируется тектоникой. Основными путями восходящего движения подземных вод являются разломы, где образуются зоны с повышенной проницаемостью [16].

Конденсационное питание подземных вод в основном выявлено в горных районах. Количественные оценки величин конденсации сделаны лишь для некоторых территорий. Так, по данным И.М.Папернова, полученным путем воднобалансовых расчетов в различных высотных зонах р.Ангой [6], величина конденсации может достигать 80 мм на высотах свыше 800 м, что составляет 80% от общей суммы атмосферных осадков. На высотах менее 700 м конденсация отсутствует. По-видимому, роль конденсации в водном балансе подземных вод криолитозоны весьма ограничена.

Фильтрация поверхностных вод — один из главных источников формирования таликов, особенно в сплошной криолитозоне. При рассмотрении геокриологических, гидрогеологических, мерзлотно-гидрогеологических карт [1, 4, 9] видно, что большинство сквозных таликов приурочено к долинам крупных и средних рек (см. рисунок).

Фильтрации речного стока способствует длительное половодье, причем средние расходы воды в этот период превышают расходы зимней межени в сотни и тысячи раз. Так, р.Оленёк, бассейн которой полностью расположен в зоне сплошной мерзлоты, по данным наблюдений гидропоста, находящегося в 7,5 км ниже устья р.Пур [18], в апреле имеет расход $1,79 \text{ м}^3/\text{с}$, а в июне и июле соответственно 7920 и $2690 \text{ м}^3/\text{с}$. В августе и сентябре величина стока также значительна (соответственно 870 и $1040 \text{ м}^3/\text{с}$). Средние величины подъема уровней вод р.Оленёк изменяются



Распространение наледей, сквозных таликов и криопэгов в Восточной Сибири. По данным карты мерзотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири масштаба 1:2 500 000, 1984 и геокриологической карты СССР масштаба 1:2 500 000, 1991:

1 — наледи; 2 — талики сквозные; криопэги: 3 — сплошные, 4 — несплошные; границы: 5 — сплошной криолитозоны, 6 — распространения криопэгов

от 6,81 до 15,28 м. В летний период поверхностные воды полностью заливают широкие поймы, характерные для большинства крупных и средних сибирских рек, причем, вода здесь держится в течение нескольких месяцев. Таким образом, создаются временные области интенсивного питания подземных вод. Количественно процессы питания подземных вод за счет фильтрации поверхностного стока изучены недостаточно. Данные о потерях стока р.Амга, наиболее крупного левого притока р.Алдан, приведены в работе [13]. На участке длиной 210 км в летнее время потери стока достигли 14 м³/с. На р.Лена на участке от села Солянка до пос.Тавага в 1987 г. потери стока составляли 137 м³/с. Приведенные данные, на наш взгляд, требуют уточнения, но они характеризуют масштаб процессов. Механизмы питания подземных вод поверхностными изучены недостаточно.

A-priori можно сделать вывод о том, что процессы фильтрации речных вод в борта долин (береговое регулирование) имеют ограниченные масштабы вследствие промороженности бортов. По-видимому, наиболее существенны процессы формирования сквозных таликов на поймах рек за счет конвективного тепло-водообмена в системе река—талик. Они исследованы В.М.Михайловым в криолитозоне северо-восточной части России [15]. Конвективный тепло-водообмен — сложный процесс, сочетающий фильтрацию речных вод в пойменный и русловой аллювий и поступление в русло подземных вод. Формированию таликов способствует высокая проницаемость русловых и пойменных отложений.

Формирование сквозных таликов в речных долинах имеет определенную связь с поступлением воды и тепла по тектоническим нарушениям, к которым нередко приспособляется гидрографическая сеть. Определенную роль в образовании сквозных таликов играет также фильтрация озерных вод. В отличие от аридной зоны озера, за исключением мелких, проточные. Уровень озерных вод повышается в период половодья, что создает дополнительные градиенты напора. Образование озерных котловин также связано с тектоникой. Так, по данным Л.Н.Крицук [11], на п-ве Ямал наиболее крупные озера приурочены к участкам пересечения разломов.

Механизмы питания подземных вод в криолитозоне изучены недостаточно. Заслуживают внимания представления В.М.Михайлова об образовании пойменных таликов, которые подтверждаются сделанными им количественными расчетами величин тепло-водообмена в системе река—талик. Рассмотренные механизмы формирования сплошных таликов, по-видимому, в той или иной степени характерны и для других территорий.

Становится более понятным генезис ряда крупных месторождений подземных вод в области сплошной мерзлоты, которую ряд специалистов относит к территориям, бесперспективным для поисков подземных вод (Талнахское, Ергалакское и др.), где эксплуатационные ресурсы подземных вод достигают десятков тысяч метров кубических в сутки. Л.С.Язвин [24] не исключает возможность выявления в сплошной криолитозоне новых подобных крупных месторождений подземных вод, причем критерием для их поисков может являться высокая плотность гидрографической сети.

Разгрузка подземных вод. В аридной зоне и криолитозоне механизмы разгрузки подземных вод существенно различаются. В аридной зоне подземные воды разгружа-

ются преимущественно путем транспирации растительностью и испарения. Основной объем разгрузки подземных вод, по-видимому, приходится на транспирацию фреатофитов, корневая система которых достигает уровня грунтовых вод или их капиллярной каймы. Корни фреатофитов проникают до глубин 30—40 м [20]. Величина по транспирации может достичь 1000 мм/год и более. Наиболее интенсивная разгрузка подземных вод происходит в речных долинах. Значительную роль в разгрузке играет испарение с многочисленных засоленных впадин-шоров. Физическое испарение характерно для экстрааридных пустынь, где растительность нередко отсутствует. В этих условиях мощность зоны активного испарения не превышает нескольких метров, а его интенсивность снижается до десятков миллиметров в год. В криолитозоне подземные воды разгружаются в основном путем дренирования водоносных горизонтов речными долинами, а также путем образования наледей.

В долинах крупных рек разгрузка в виде подземного стока происходит круглогодично, а мелких и средних — лишь в теплый период. Величины разгрузки подземных вод путем их поступления в реки довольно значительны. Например, согласно работе [20], слой подземного стока рек Оленёк, Индигирка, Колыма, бассейны которых расположены в сплошной криолитозоне, составляют соответственно 11, 14, 33 мм/год [3]. При этом, как уже отмечалось, необходимо учесть, что величины слоя подземного стока рассчитаны для площади всего бассейна, а не той его части, которая реально дренируется речными долинами.

В зимний период разгрузка подземных вод в значительной степени происходит путем образования наледей. При этом активизируется поступление в речные долины подземных вод за счет создания дефицита напоров в процессе промерзания водоносных пород, в результате чего напоры нижних горизонтов оказываются выше, чем верхних [16, 22]. Наледная разгрузка подземных вод может достигать значительных величин. Так, наледная разгрузка подземных вод Иньяли-Дебинского района в бассейне р.Индигирка составляет 30,3 м³/с при суммарной площади водосбора 28 120 км², что дает модуль разгрузки 1,08 л/с км² [8].

Следует помнить, что наледи образуются не только за счет подземных, но и поверхностных вод. Крупные наледи приурочены в основном к горно-складчатым гидрогеологическим областям, в особенности Верхояно-Чукотской (см. рисунок). На распределение наледей значительно действует тектонический фактор, т.к. подземные воды нередко разгружаются в зонах разломов.

Механизмы разгрузки подземных вод в аридной зоне и криолитозоне происходят различными путями, и прямых аналогий здесь быть не может, но при этом местоположение зон разгрузки в значительной степени определяется гидрологическими факторами.

Формирование химического состава подземных вод. В обеих рассматриваемых зонах гидрогеохимические процессы значительно зависят от климатических факторов. В аридной зоне, как известно, широко распространены воды повышенной минерализации, формирующиеся главным образом путем испарительного концентрирования солей. Определяющую роль в этом процессе имеет биологическое соленакопление, происходящее в результате транспирации фреатофитов (И.Н.Бейдеман, 1962).

На минерализацию и химический состав подземных вод большое воздействие оказывают процессы перераспреде-

ления солей между отдельными территориями. Существуют более или менее замкнутые геохимические циклы переноса солей в центральные части впадин с поверхностными и подземными водами и их обратной транспортировки в области питания подземных вод путем атмосферного переноса (цикличность миграции солей [20]).

Площадная гидрогеохимическая зональность наиболее хорошо выражена при аллохтонном подтипе формирования различных вод, причем, площадное распределение вод с различными минерализацией и химическим составом определяется прежде всего взаимодействием аллохтонных подземных потоков с аридной климатической обстановкой. При автохтонном подтипе формирования подземных вод площадная гидрогеохимическая зональность нередко маскируется местными факторами.

Вертикальная инверсионная гидрогеохимическая зональность (уменьшение минерализации с глубиной подземных вод) наиболее характерна для аллохтонного подтипа формирования подземных вод [23]. Прямая зональность (увеличение минерализации с глубиной) в основном наблюдается при автохтонном подтипе формирования подземных вод.

В криолитозоне процессам взаимодействия в системе вода—порода в верхней гидрогеодинамической зоне противодействуют низкие температуры, снижающие скорость химических реакций, локальность формирования таликовых вод, наличие криогенных водоупоров. В результате подземные воды имеют низкую минерализацию и химический состав, нередко мало отличающийся от состава атмосферных осадков. В основном формируются гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией до 0,1 г/л. Гидрогеохимическая особенность криолитозоны — значительное распространение силикатных (кремнеземных) вод [1, 5].

Химический состав подземных вод в значительной степени метаморфизуется под воздействием многолетней мерзлоты. Происходят физико-химические процессы, сопровождающиеся нарушением водно-солевых равновесий с перераспределением компонентов минерализации между жидкой и твердой фазами воды и мерзлой породой. При промерзании водоносной породы кристаллизуется в основном чистая вода, а растворенные соли остаются в жидкой фазе, что понижает температуру ее дальнейшего замерзания [1]. При этом воды нередко приобретают сульфатный или хлоридный состав. Такой процесс назван Р.С.Кононовой (1974) криогенным концентрированием вод. Нетрудно заметить, что криогенное концентрирование действует на химический состав вод в том же направлении, что и испарительное концентрирование в аридной зоне. Криогенное концентрирование — главная причина образования криопэгов, скоплений высокоминерализованных переохлажденных вод, которые широко распространены в зоне сплошной мерзлоты на Сибирской платформе и в некоторых других регионах (см. рисунок).

Конечно, масштабы криогенного концентрирования подземных вод несопоставимы с процессами испарительной концентрации в аридной зоне, но интересен сам факт, что нередко гидрогеохимические процессы и в аридной зоне, и в криолитозоне приводят к повышению минерализации подземных вод и изменению их химического состава по схеме $\text{HCO}_3^- \text{ SO}_4^{2-} \text{ Cl}^-$.

Площадная и вертикальная гидрогеохимическая зональности в криолитозоне мало изучены. Вследствие локальности распространения таликовых вод в криолитозоне нет

условий для формирования региональных потоков пресных подземных вод, которые развиты в аридной зоне.

Что касается вертикальной зональности, то на большей части криолитозоны России, в особенности в системе бассейнов подземных вод Сибирской платформы, она, по-видимому, прямая. В значительной степени это связано с широким распространением на Сибирской платформе галогенных кембрийских формаций, содержащих высокоминерализованные воды. Однако в некоторых регионах (Печорский бассейн, Предуральский прогиб) Н.Г.Оберман [17] выявил инверсионную гидрогеохимическую зональность. Соображения наших исследователей о гидрогеохимической зональности в криолитозоне в значительной степени предположительны и требуют проверки.

Аридная зона и криолитозона существенно различаются по процессам формирования микрокомпонентного состава подземных вод, что обусловлено прежде всего различиями основных параметров, управляющих геохимической миграцией элементов-величин Eh и pH [14]. Ввиду краткости статьи, мы на этом вопросе не будем останавливаться.

Основной вывод заключается в том, что при резком различии природной обстановки в аридной зоне и криолитозоне существуют некоторые общие тенденции развития гидрогеохимических процессов. В частности, известная аналогия существует между испарительным и криогенным концентрированием подземных вод.

Эколого-гидрогеологическая обстановка. Общим для аридной зоны и криолитозоны является низкая обеспеченность ресурсами питьевых подземных вод, хотя причины этого различны. На большей части территории аридной зоны и криолитозоны естественная защищенность от загрязнения первых от поверхности водоносных горизонтов относительно повышенная. В аридных условиях это обусловлено малым количеством атмосферных осадков, в криолитозоне — распространением с поверхности криогенных водоупоров. Однако в областях питания подземных вод, которые в значительной степени связаны с гидрографической сетью, подземные воды уязвимы к загрязнению. Под влиянием техногенных факторов степень защищенности подземных вод от загрязнения существенно уменьшается.

Процессы самоочищения подземных вод от загрязняющих веществ в обеих зонах имеют низкую интенсивность, что в значительной степени обусловлено низкой активностью водообмена. В криолитозоне, кроме того, большое значение имеют низкие температуры подземных вод и вмещающих пород, ограничивающие скорости химических реакций. Общей закономерностью является то, что поступившие в подземные воды поллютанты задерживаются в гидрогеологических емкостях, снижая качество подземных вод.

Сопоставление закономерностей антропогенных изменений подземной гидросферы в аридной зоне и криолитозоне в настоящее время затруднено, т.к. территория криолитозоны практически не освоена. Если в пределах аридной зоны хозяйственная деятельность приводит к региональным негативным экологическим последствиям, включая опустынивание крупных регионов, загрязнение и истощение ресурсов пресных подземных вод и другое [15], то в криолитозоне антропогенные изменения подземной гидросферы пока проявляются на локальных площадях. Они будут заключаться преимущественно в гидрогеологических последствиях деградации мерзлоты, нарушениях гидрогеологических условий, интенсивности взаимодей-

ствия поверхностных и подземных вод и т.д. Если для аридных условий одним из отрицательных последствий отбора подземных вод будет истощение их ресурсов, то для криолитозоны типично их увеличение в результате увеличения объемов водовмещающих емкостей. Данные вопросы необходимо рассмотреть более детально.

На основании приведенных материалов можно сделать следующие выводы:

1. Несмотря на резкое различие климатических условий процессы формирования подземных вод в аридной зоне и криолитозоне имеют определенное сходство, что объясняется прежде всего экстремальностью климата, резко снижающего интенсивность подземного водообмена.

2. Идентичность гидрогеологических закономерностей в аридной зоне и криолитозоне выражается:

в преимущественно локальном распространении скоплений пресных подземных вод (в аридной зоне — линзы, криолитозоне — талики);

в широком развитии реликтовых подземных вод, унаследованных от предшествующих климатических эпох;

в значительной, нередко определяющей роли в питании подземных вод, поверхностных вод, в определенной степени в особенностях формирования химического состава подземных вод: в аридной зоне результирующая гидрогеохимических процессов в верхней части подземной гидросферы направлена в сторону формирования высокоминерализованных вод, образующихся путем испарительной концентрации, в которой основная роль принадлежит транспирации растений. Аналогичная тенденция наблюдается и в криолитозоне в результате криогенного концентрирования подземных вод, что приводит к образованию на значительных территориях криопеггов, хотя масштабы процессов гораздо менее значительны, чем в аридной зоне;

в высокой уязвимости подземной гидросферы к антропогенным воздействиям.

3. Значительные различия гидрогеологических закономерностей аридной зоны и криолитозоны в верхней части подземной гидросферы:

различны типы формирования подземных вод;

различны механизмы разгрузки подземных вод (в аридной зоне в эвапотранспирации в криолитозоне сток в реки и образование наледей);

горные поднятия, обрамляющие аридные зоны, являются региональными областями питания подземных вод, в криолитозоне влияние на подземные воды горных поднятий менее значительно;

4. Сравнительный анализ влияния на подземные воды антропогенной деятельности сделать пока затруднительно, т.к. криолитозона в отличие от аридной зоны практически не освоена и крайне слабо изучена. Можно отметить, что в аридной зоне негативные последствия хозяйственной деятельности заключаются главным образом в истощении ресурсов пресных вод и их загрязнении. В криолитозоне процессы загрязнения подземных вод сдерживаются низкими температурами. Что касается истощения ресурсов пресных подземных вод, то на основании анализа имеющейся ограниченной информации можно сделать предварительный вывод о том, что истощение ресурсов подземных вод криолитозоне не угрожает, т.к. при водоотборе за счет усиления интенсивности конвективного теплообмена увеличиваются емкости водоносных горизонтов.

5. Для прогноза эволюции гидрогеологических условий криолитозоны целесообразна разработка и реализация

специальной программы по изучению подземных вод криолитозоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анисимова Н.П.* Криогеохимические особенности мерзлой зоны. —Новосибирск: Наука, 1981.
2. *Атлас гидрогеологических и инженерно-геологических карт СССР.* —М., 1983.
3. *Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза.* —Л.: Гидрометеиздат, 1967.
4. *Геокриологическая карта СССР масштаба 1:2 500 000 /* Под ред. Э.Д.Ершова. —М.: Недра, 1991.
5. *Гидрогеология СССР.* Сводный том. Вып. 1. Основные закономерности распространения подземных вод. —М.: Недра, 1976.
6. *Гидрогеология СССР.* Т. XXVI. Северо-восток. —М.: Недра, 1970.
7. *Гуцало Т.А., Соколовский Л.Г., Поляков В.А., Миловидов В.Л.* Гидрогеология Нижнеканского гранитоидного массива // Разведка и охрана недр. № 10. 2004. С. 53—58.
8. *Ершов Э.Д.* Общая геокриология. —М.: Недра, 1990.
9. *Карта мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири масштаба 1:2 500 000 /* Под ред. П.И.Мельникова. —М.: Изд-во ГУГК СССР, 1984.
10. *Карта подземного стока СССР масштаба 1:2 500 000.* —М.: Изд-во ГУГК СССР, 1985.
11. *Кричук Л.Н.* Специфика гидрогеологических условий нефтяных месторождений Западной Сибири // Разведка и охрана недр. 2004. № 10. С. 65—70.
12. *Линзы пресных вод пустыни.* —М.: Изд-во АН СССР, 1963.
13. *Мониторинг подземных вод криолитозоны.* —Якутск, 2002.
14. *Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири /* Составители В.В.Шепелев, О.Н.Толстухин, В.М.Пигузова и др. —Новосибирск: Наука, 1984.
15. *Мавлянов А.А., Борисов В.А., Хамитов Г.* Эволюция ресурсов подземных вод республики Узбекистан / Создание систем рационального использования поверхностных и подземных вод бассейна Аральского моря. —Ташкент, 2003. С. 93—100.
16. *Михайлов В.М.* Гидротермический режим водотоков как индикатор существования грунтово-фильтрационных таликов (по результатам натуральных исследований) // Криосфера Земли. 2003. Т. VIII. № 2. С. 57—66.
17. *Подземные воды Полярного и Приполярного Урала /* Рациональное использование и охрана подземных вод. —Красноярск, 1984. С. 21—35.
18. *Основные гидрогеологические характеристики.* Лено-Индинский район. Т. 17. —Л.: Гидрометеиздат, 1972.
19. *Островский В.Н.* Формирование подземных вод и теория литогенеза // Литология и полезные ископаемые. —М., 1966. С. 135—139.
20. *Островский В.Н.* Подземные воды пустынь и экосистемы. —М.: Недра, 1991.
21. *Поляков В.А.* Криогенная метаморфизация изотопного состава подземных вод на территории развития толщ многолетнемерзлых пород // XIV симпозиум по геохимии изотопов. —М.: ГЕОХИ РАН, 1995. С. 168—169.
22. *Толстухин О.Н.* Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР. —Новосибирск: Наука, 1984.
23. *Ходжибаев Н.Н.* Естественные потоки подземных вод Узбекистана. —Ташкент: ФАН, 1970.
24. *Язвин Л.С.* Оценка прогнозных ресурсов питьевых подземных вод и обеспеченность населения России водами для хозяйственно-питьевого водоснабжения // Разведка и охрана недр. 2003. № 10. С. 13—20.
25. *Alsharhan A.S., Rizk Z.A., Naim, Bakhit D.N., Alharaian S.A.* Hydrology of arid region: the Arabian Gulf and Adjoi ning Areas. —Amsterdam, Elsevier, 1990.
26. *Sonntag C., Klitzsh E., Lohntz E., El-Sharhy E.M., Munnich K.O., Junglans Ch., Thorweine U., Weistroffer K., Swailem F.M.* Paleoclimatic information from deuterium and oxygen-18 in carbon-14 dated north Sahazian ground water formation in the past-Isotope hydrology. 1978. Vol. II. —Vienna, 1979. P. 569—581.