

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

УДК 556.3:502.175

О проблемах комплексного использования и охраны водных ресурсов Оренбуржья и сопредельных территорий**А.Я. Гаев, И.В. Куделина, И.А. Гаев**

Оренбургский государственный университет

460018, Оренбург, пр. Победы, 13. E-mail: gayev@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 2 октября 2023 г.)

Водные ресурсы Оренбургской области формируются преимущественно за счет вод инфильтрационного происхождения. Их динамика и химический состав меняются зонально, уменьшаясь с севера на юг, от лесостепей до сухих степей и далее к пустыням Казахстана по законам широтной зональности и высотной поясности, которые отличаются в разных районах. Хорошо гидрогеологически закрытые районы имеют мощную зону гидрогалогенеза. С уменьшением закрытости недр растет мощность зон гидрогенеза, достигающая максимума на горно-складчатом Урале, где гидрогеологическая зональность согласуется с ландшафтно-геохимической неоднородностью и с бассейнами стока. Концентрации элементов в водах растут от зоны аэрации к зоне постоянного стока. В структурах Предуралья выявлен региональный геохимический барьер сероводородных вод для металлов. Объем химической денудации уменьшается к сухостепной зоне и растет в приподнятых районах, сложенных загипсованными и карстующимися породами. Для решения водохозяйственных задач необходимо внедрять современные технологии. К ним относятся комплексные устройства с геохимическими, гидродинамическими и комплексными барьерами.

Ключевые слова: *водные ресурсы, гидрогеохимическая зональность, модуль стока, комплексный барьер.*

DOI: 10.17072/psu.geol.23.1.23

Введение

Наиболее ценные подземные воды инфильтрационного генезиса приурочены к зоне активного водообмена. Они формируются по законам широтной зональности и высотной поясности (Всеволожский, 1983). От лесостепей к сухим степям снижается количество атмосферных осадков и модулей водного стока, растут испарение и минерализация вод. Высотная поясность особенно контрастна в горах, играющих роль климатораздела, несмотря на их небольшую высоту. Они резко уменьшают водный сток. Цель исследования – рассмотреть вопросы комплексного использования и охраны водных ресурсов Оренбуржья и сопредельных территорий. Задачи исследования сводятся к следующему: уточнить строение и условия формирования подземных вод региона во взаимосвязи с техногенными процессами; разработать меры по

переходу к управлению ресурсами и качеством природных вод на основе системы мониторинга, экспериментальных и натуральных исследований системы вода–порода в разных гидрогеологических условиях с применением технологий по восполнению запасов подземных вод на действующих водозаборах за счет частичной аккумуляции паводковых вод с защитой их от загрязнения барьерными технологиями.

Для реализации этих задач проанализированы и обобщены имеющиеся гидрогеологические материалы, а также выявлены закономерности формирования природных вод с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Результаты и обсуждения

На Урале преобладают трещинно-жильные воды, а в Предуралье сосредоточены поровые и пластово-поровые вод. В результате

гидрокарбонатно-хлоридными и гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридными на юге. Из катионов в водах преобладает кальций, но в гранитоидах – натрий, а в гипербазитах и доломитах – магний. Выявлены площади с инверсионным типом зональности, с хлоридным и сульфатным типом в зоне аэрации. Ниже по разрезу они сменяются гидрокарбонатными водами, а на сульфидных месторождениях формируются рудные и ореольные воды (рис. 2).

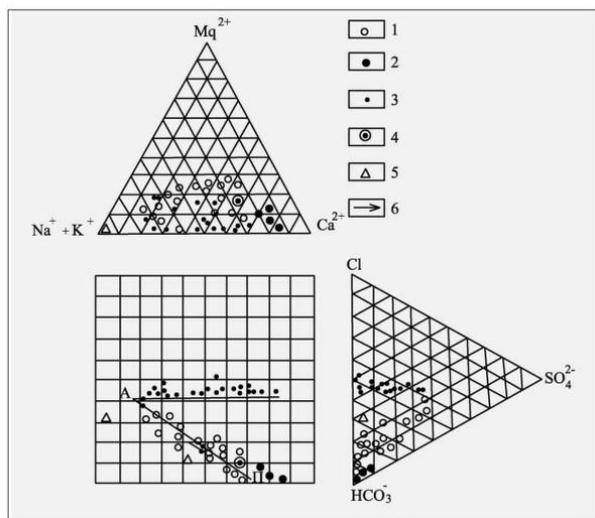


Рис. 2. Диаграмма состава природных вод региона, по С.А. Дурову: воды: 1 – кор выветривания; 2 – трещинно-жилльные; 3 – болот; 4 – рек; 5 – атмосферных осадков; 6 – направление формирования подземных (АП, рудных и ореольных вод) и болот (АБ)

В Предуралье преобладают воды седиментационно-эпигенетические субаквальных и переходных бассейнов (рис. 3). Динамика преобразования вертикальной зональности хорошо фиксирует взаимосвязь этих бассейнов. Области питания водонапорной системы за счет инфильтрационных вод фиксируются участками глубокого стратиграфического проникновения вод зоны гидрогенеза. Они приурочены к артезианским сводам и к тектоническим нарушениям кристаллического фундамента с куполовидными поднятиями рассолов, фиксирующих области разгрузки вод.

В связи с развитием территории растут дефицит вод, их минерализация и уровень загрязнения, особенно на юге территории и в долинах рек. Ведущую роль в загрязнении подземных вод играет горнодобывающая промышленность.

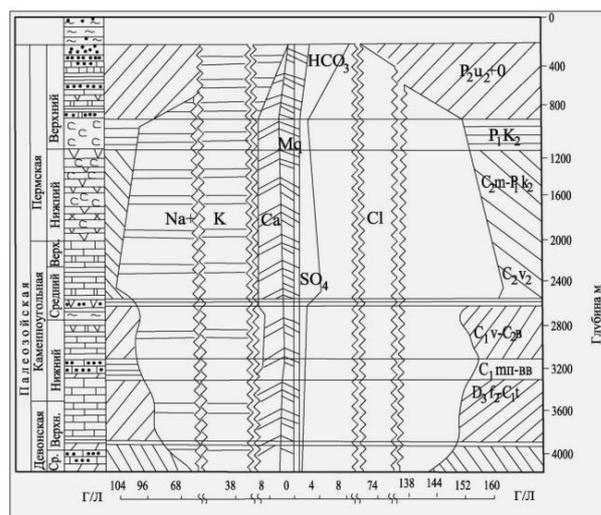


Рис. 3. Сводный гидрогеологический разрез одного из районов платформенного Предуралья

На месторождениях твердых полезных ископаемых формируются сернокислые воды с высоким содержанием тяжелых металлов. На месторождениях углеводородов в продуктивные и поглощающие горизонты закачиваются большие объемы слабо минерализованных вод. Скорость движения пластовых флюидов при этом растёт на 3–5 порядка. Вокруг нагнетательных и поглощающих скважин возникают зоны окисления и выщелачивания. При строительстве емкостей выщелачивания в каменной соли на поверхность земли поступает масса солей, превышающая таковую в речном стоке. Окружающая среда загрязняется физико-химически и микробиологически. При рудничном водопонижении растет мощность зоны аэрации и усиливаются процессы самоочищения вод на геохимических барьерах. В подземных водах появляются искусственно синтезированные соединения.

Для превращения процессов недропользования в управляемые выполнено гидрогеологическое картографирование и районирование территории, в частности по надежности локализации загрязняющих веществ.

При гидрогеологическом картографировании и районировании территории предварительно выполняется расчленение вертикального разреза с выделением этажей и зон. Гидродинамическая зона – это часть гидрогеологической структуры с единством напоробразующих факторов, скоростью фильтрации и интенсивностью водообмена.

Выделяются зоны активного, затрудненного и весьма затрудненного водообмена. В отечественной литературе широко применяется понятие «гидродинамический этаж» и выделяется два этажа: верхний, дренирующий воды долин крупных рек, и нижний, соответствующий зонам активного и замедленного водообмена. Нижний этаж соответствует зоне весьма затрудненного водообмена. В нем отсутствуют четко выраженные области питания и разгрузки. Кроме гидродинамических, выделяются также гидрогеологические и гидрогеохимические этажи. В.А. Всеволожский (1977) характеризует гидрогеологический этаж как наиболее крупный стратификационно-гидрогеологический бассейн с едиными условиями формирования вод, который сложился исторически и обладает общностью динамики и химического состава вод (Всеволожский, 1983).

При гидрогеологическом картографировании раскрываются процессы формирования водного стока на основе системного подхода к водному стоку, по Б.И. Куделину (1954). При выделении бассейнов стока использована вертикальная зональность и поясность водного стока (Куделин, 1954).

В соответствии с разработками ландшафтоведов выявлена взаимосвязь ландшафтов с гидродинамическими зонами (рис. 4). Сосредоточение подземных вод приурочено к зоне постоянного горизонтального стока и к субаквальным ландшафтам. При переходе от микробассейнов к мезо- и макробассейнам стока элювиальные ландшафты сменяются трансэлювиальными, супераквальными и аквальными.

В элювиальных ландшафтах обнажаются коренные породы и формируются эрозионные типы рельефа. Подземный сток здесь относительно небольшой из-за неглубокой и слабой трещиноватости, а также приподнятого гипсометрического положения. Ниже по склонам, но выше уровня грунтовых вод расположены трансэлювиальные ландшафты. Наличие глинистых слабо проницаемых отложений на склонах значительно снижает инфильтрацию вод в водоносные горизонты. Даже влага, проникающая в почву, выклинивается на поверхность земли с временными источниками.

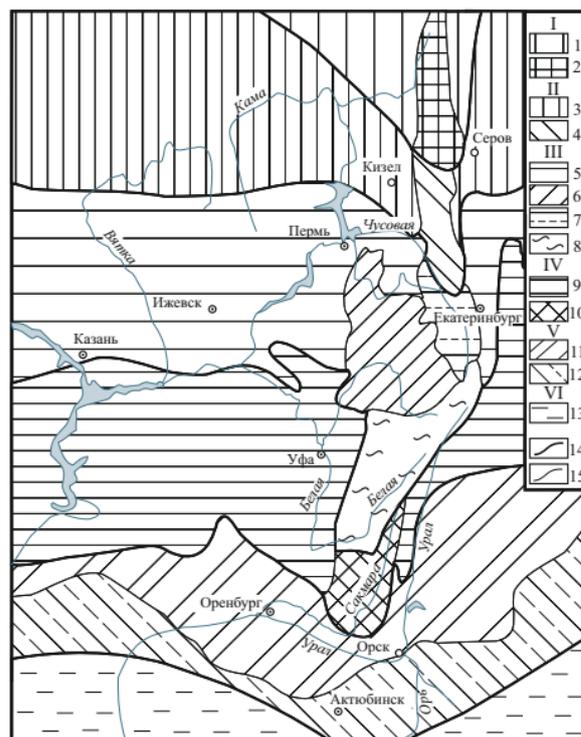


Рис. 4. Ландшафтно-климатические зоны Предуралья и Урала. I Северотаежная зона: 1 – глеево-подзолистых почв; 2 – горных глеево-подзолистых почв; II Среднетаежная зона: 3 – подзолистых почв; 4 – горных подзолистых и суглинисто-каменистых почв; III Южнотаежная зона: 5 – дерново-подзолистых почв; 6 – серых лесных почв; 7 – горных дерново-подзолистых почв; 8 – горных серых лесных почв; IV Лесостепная зона: 9 – черноземов оподзоленных, выщелоченных, типичных; 10 – горных черноземов; V Степная зона: 11 – черноземов обыкновенных южных; 12 – темно-каштановых и каштановых почв; VI Сухостепная зона: 13 – светло-каштановых бурых почв. Границы: 14 – ландшафтно-климатических зон; 15 – разных типов почв

Поэтому водоносность пород здесь понижена. Подземный сток растет в супераквальных ландшафтах, где в покровных отложениях увеличивается неоднородность грансостава пород. Наряду с делювиальными суглинками и илами в составе пород здесь присутствуют мелкозернистые пески и русловые фации. Выполаживающийся рельеф способствует формированию водоемов с размерами от луж до малых озер. Инфильтрация воды из них подпитывает горизонты подземных вод. Нижние части склонов сложены речным и озерным аллювием. К нему и приурочены зоны сосредоточения подземных и взаимосвязанных с ними поверхностных вод.

Высотная поясность бассейнов стока хорошо согласуется с ярусностью рельефа и смежной элементарных геохимических ландшафтов. Зоны сосредоточения подземных вод, тяготеющие к субаквальному ландшафтам, обычно характеризуются увеличением водоносности пород, возрастающей со снижением высотной поясности. Литологический состав пород и неотектонические особенности развития территории несколько осложняют эту общую закономерность, которая сказывается на особенностях взаимосвязи подземных и поверхностных вод. Она играет важную роль при решении проблем локализации загрязняющих веществ и повышения защищенности территории от загрязнения.

Построен комплекс карт, на которых геохимические ландшафты сопоставлены с гидродинамическими зонами. Карты, разрезы, профили и диаграммы отражают гидрогеохимическую ситуацию, фоновые условия миграции и формирование химического состава подземных вод в разных гидродинамических зонах (рис. 5) (Лушников, 1974; Макаренко, 1960; Максимович, 1964).

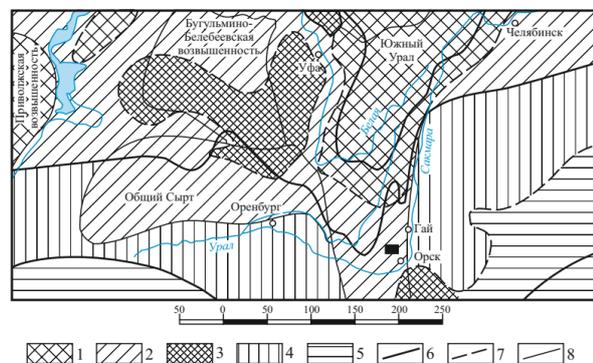


Рис. 5. Гидрогеохимическая зональность подземной составляющей стока рек Оренбуржья и сопредельных районов (по Е.А. Лушникову, 1974). Анионный состав воды: 1 – гидрокарбонатный; 2 – гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-сульфатный; 3 – сульфатный в пределах развития гипсов и ангидритов; 4 – гидрокарбонатный и гидрокарбонатно-хлоридный; 5 – хлоридный. Границы: 6 – ландшафтно-климатических зон; 7 – положительных форм рельефа; 8 – подземных вод различного анионного состава

Подземные воды выносят из пород и аккумулируют при транспортировке химические элементы. Оценить эту деятельность

можно через параметр относительного модуля химического стока, относимого к мощности исследуемого горизонта, по Б.И. Куделину и А.Я. Гаеву (1954). Были использованы также параметры предельно допустимой концентрации, по Черкинскому, и предельно допустимых выбросов, по Израэлю, и модуль ПДК (Мпдк) (Гаев, 2018). Последний – это модуль химического стока с концентрацией компонента на уровне ПДК. Он определяется как произведение модуля водного стока и концентрации компонента на уровне ПДК. Разница между значениями фактического модуля и Мпдк равна значению Мпдв. При положительном значении Мпдв ситуацию можно считать удовлетворительной (рис. 6).

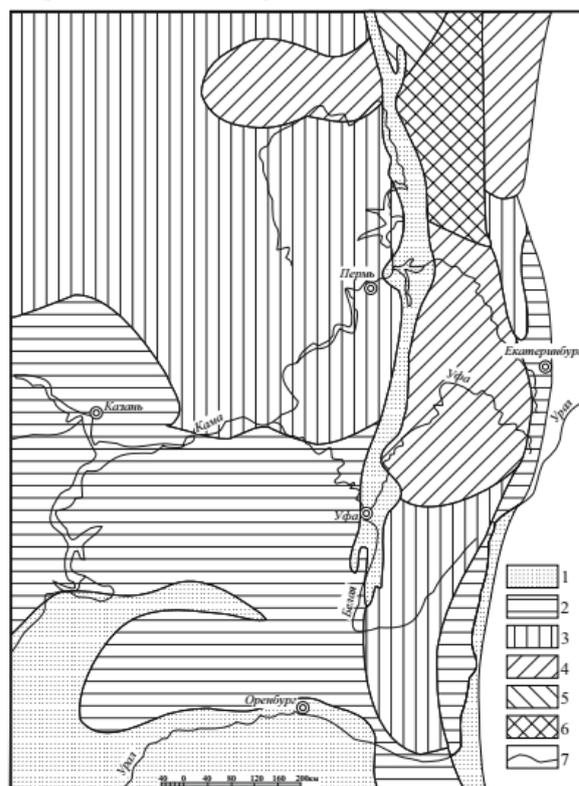


Рис. 6. Схематическая карта уязвимости территории Урала и Предуралья к загрязнению (Составили А.Я. Гаев, В.Г. Гацков, И.В. Куделина). Оценка уязвимости дана в $M_{пдв}$ в $t/км^2$ в год: 1 – <5; 2 – 5–20; 3 – 20–40; 4 – 30–50; 5 – 50–100; 6 – >100; 7 – границы районов

В районах с положительными неотектоническими поднятиями растет трещиноватость и скважность пород, начиная с кристаллического фундамента. На схеме районирования

объекты недр подразделяются по надежности недр сохранять загрязнения: от очень надежных до исключительно ненадежных. Управляемость ситуацией растёт при использовании объектов с высокой надёжностью и защищённостью от загрязнения. Защищённость оценивается через модуль предельно-допустимого загрязнения. Он уменьшается к сухостепной зоне до 5 т/км² в год, а также от геоморфологически приподнятых районов к пониженным в рельефе. Схему районирования мы одновременно рассматриваем в качестве схемы перспективного размещения производительных сил. По этой схеме новые экологически опасные объекты рекомендуется размещать только на хорошо защищенных от загрязнения территориях.

Для решения водохозяйственных задач необходимо внедрять современные технологии. К ним относятся комплексные устройства с геохимическими, гидродинамическими и комплексными барьерами.

Представления о геохимических барьерах разработал и ввел в науку А.И. Перельман (1976) в середине прошлого века в процессе исследования проблем ландшафтной геохимии. Он охарактеризовал геохимический барьер как участок в зоне гипергенеза, в пределах которого на коротком расстоянии резко уменьшается интенсивность миграции химических элементов, и они из раствора выпадают в виде трудно растворимых соединений. В настоящее время это понятие расширено и выходит далеко за пределы зоны гипергенеза. Перельманом выделены типы и классы геохимических барьеров. Так, на границе окислительной обстановки с резко восстановительной средой формируется сероводородный восстановительный геохимический барьер. С ним связано формирование медистых песчаников, селеновых, ванадиевых и других руд. С сульфатными и карбонатными геохимическими барьерами связано накопление во вмещающих породах Ba, Ca, Sr. На щелочных барьерах накапливаются многочисленные металлы: Mg, Ca, V, Sr, Cu, Cr, Fe, Mn, Co, Ni и др. А.И. Перельманом выделены также адсорбционные, кислые и испарительные барьеры, а еще естественные и техногенные барьеры. В развитии идей А.И. Перельмана А.Я. Гаев (1996) охарактеризовал природно-техногенные типы геохимических барьеров, а

совместно с В.Д. Бабушкиным разработал представления о комплексных гидродинамических и геохимических барьерах (Бабушкин, 2003).

Комплексные барьеры представляют собой сочетание гидродинамических и геохимических барьерных технологий. Они особенно эффективны в вододефицитных районах при восполнении запасов подземных вод за счет частичной аккумуляции паводкового стока. Они предотвращают последствия неравномерности водного стока, нарастающего в аридных районах, особенно в летнюю межень, когда тратится много воды, а уровень ее в водоемах и скважинах резко падает (Бабушкин, 2003).

При помощи разнообразных комплексных барьеров разработаны многочисленные способы защиты подземных вод от загрязнения и истощения.

Комплексный барьер не только извлекает загрязняющие вещества при эксплуатации водозабора и направляет их в систему дренажа, но и увеличивает длину пути и время их миграции к водозаборным скважинам настолько, что возрастает экологическая емкость вмещающих пород. Она становится достаточной для локализации загрязнения.

Группой ученых под руководством А.Я. Гаева разработаны различные варианты комплексных барьеров для защиты подземных вод от загрязнения и истощения (Гаев, 2018). Из множества модификаций рассмотрим устройство для наиболее распространенной гидрогеологической ситуации. Это устройство комплексного гидродинамического и геохимического барьеров, когда загрязняющие вещества поступают к водозабору с двух сторон: от источников, расположенных на водосборной площади, и со стороны водоема. В этом случае рекомендуется устройство двух комплексных барьеров, отделяющих водозабор от потоков загрязнения, поступающих с водораздела и от водоема (рис. 7). В обоих случаях барьерные устройства защищают водозабор от загрязняющих веществ, образующихся вблизи их источников.

Геохимический барьер может быть представлен стенкой из глинобетона, цементной завесой или искусственным геохимическим барьером, создаваемым по индивидуальной

технологии. Второй барьер расположен вблизи водоема. Он является проницаемым для воды, но задерживает загрязняющие вещества. За геохимическими создаются и гидродинамические барьеры путем формирования поверхности раздела потоков. Граница раздела потоков находится в зоне пресных вод.

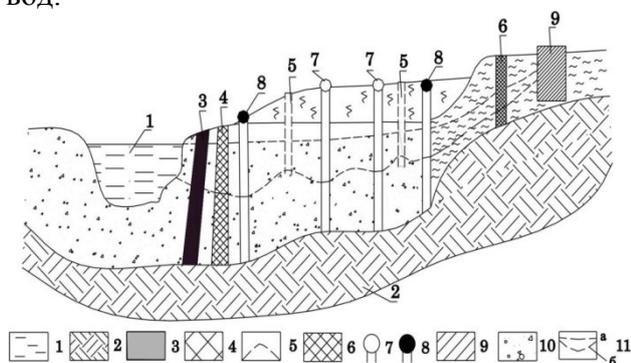


Рис. 7. Комплексный барьер, защищающий водозабор от потоков загрязнения, поступающих одновременно с водосборной площадью и от реки. 1 – река с загрязненной водой; 2 – водоупорные суглинки. Барьеры: 3 – биогеохимический; 4 – природно-техногенный; 5 – гидродинамический; 6 – геохимический; 7 – водозаборные скважины; 8 – дренажные воды; 9 – источник загрязнения; 10 – аллювиальный горизонт; 11 – УГВ: а – статический, б – динамический

Разработанные устройства комплексных барьеров принципиально отличаются от известных в литературе. Они сочетают гидродинамические барьеры с геохимическими и не имеют пока аналогов в отечественной и зарубежной практике. С учетом особенностей формирования потоков и ареалов загрязнения и взаимодействия источников загрязнения с окружающей средой создан целый ряд устройств комплексных барьеров, размещаемых перед водозаборами. Их особенностью является одновременная эксплуатация питьевых вод и откачка загрязнённых вод, которые рекомендуется использовать в технических и сельскохозяйственных целях.

Защита водозаборов и водоемов с применением комплексных барьеров имеет большие преимущества, обеспечивая существенную экономию производственных площадей, финансовых и материальных средств. Кроме того, предотвращается нитрификация органического азота и исключаются технологии удаления осадков.

Выводы

Проблемы комплексного использования и охраны водных ресурсов в маловодных районах Оренбуржья и сопредельных территорий обусловлены необходимостью коренных изменений в системе природопользования, что имеет место и в других урбанизированных и аридных регионах, отличающихся большой неравномерностью водного стока. Совершенствование систем водо- и природопользования может быть достигнуто за счет внедрения барьерных технологий. Разработанные комплексные гидродинамические и геохимические барьеры способны защитить водозаборы от загрязнения и обеспечить переход территории на модель устойчивого развития.

Внедрение единой межведомственной территориальной системы мониторинга призвано усилить контроль и прогноз ареалов загрязнения, а также повысить оперативность мер профилактики и ликвидации источников загрязнения. Должны внедряться малоотходные технологии, системы бессточного водопользования, рекультивация нарушенных земель и комплексные барьеры. Загрязнение должно предотвращаться путем внедрения: а) схем типизации подземных вод к загрязнению; б) схем районирования территории по надежности захоронения трудно очищаемых вод; в) систем мониторинга с целью ликвидации источников загрязнения.

Дальнейшая разработка вопросов охраны подземных вод от загрязнения и их рационального использования требует более детальных исследований техногенных и природных факторов взаимосвязи инфильтрационных и седиментационно-эпигенетических вод, их роли в формировании поглощающих и продуктивных нефтегазоносных горизонтов.

Библиографический список

- Бабушкин В.Д. Научно-методические основы защиты от загрязнения водозаборов хозяйственно-питьевого назначения / Перм. ун-т. – Пермь, 2003. 264 с.
- Всеволожский В.А. Подземный сток и водный баланс платформенных структур. М.: Недра, 1983. 167 с.
- Гаев А.Я. Фундаментальные и прикладные проблемы гидросферы. Часть II. Экологические проблемы: учеб. пособие / А.Я. Гаев,

М.А. Тихоненко, Ю.А. Килин; под общ. ред. А.Я. Гаева. М.: Университетская книга, Редакционно-издательский дом Российского нового университета, 2018. 200 с., ил.

Гаев А.Я. Гидрогеохимия Урала и вопросы охраны подземных вод [Текст] / Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1989. 368 с.

Зекцер И.С. Закономерности формирования подземного стока и научно-методические основы его изучения. М.: Наука, 1977. 172 с.

Кирюхин В.А. Общая гидрогеология: учебник / В.А. Кирюхин / СПб гос. горный ин-т (техн. ун-т). СПб, 2008. 439 с.

Куделин Б.И. К методике картирования подземного стока // Вестн. МГУ, 1954. № 12. С. 117–121.

Лушников Е.А. Геологическая деятельность современных рек Урала и прилегающих равнин. Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1974. 124 с.

Макаренко Ф.А. Зональность подземных вод и ее значение в геологических процессах // Проблемы гидрогеологии. М., 1960. С. 155–156.

Максимович Г.А. Гидрогеохимические зоны платформы // Химическая география и гидрогеохимия. Пермь, 1964. Вып. 3(4). С. 101–120.

Мартин В.И. Гидрогеология и типы карста Башкирии: автореф. дис. ...канд. геол.-минерал. наук. Пермь, 1975. 31 с.

Перельман А.И. Геохимия. М.: Высш. шк., 1979. 423 с.

On the Problems of Integrated Use and Protection of Water Resources in the Orenburg Region and Adjacent Territories

A.Y. Gaev, I.V. Kudelina, I.A. Gaev

Orenburg State University, 13 Pobeda Ave., Orenburg 460018, Russia. E-mail: gayev@mail.ru

The water resources of the Orenburg region are formed mainly due to water of infiltration origin. Their dynamics and chemical composition change zonally, decreasing from north to south, from forest-steppes to dry steppes and further to the deserts of Kazakhstan in accordance to the laws of latitudinal and altitudinal zonation, which vary depending on the regions. Well hydrogeologically closed areas have a powerful zone of hydrohalogenesis. With a decrease in the closeness of the subsoil, the thickness of zones of hydrogenesis increases, reaching a maximum in the folded mountainous Urals, where hydrogeological zoning is consistent with landscape-geochemical heterogeneity and drainage basins. Concentrations of elements in waters increase from the aeration zone to the zone of normal base flow. A regional geochemical barrier of hydrogen sulfide waters for metals has been identified in the structures of the Cis-Ural region. The volume of chemical denudation decreases towards the dry steppe zone and increases in elevated areas composed of gypsum and karst rocks. To solve water management problems it is necessary to introduce modern technologies. These include complex devices with geochemical, hydrodynamic and complex barriers.

Key words: *water resource; hydrogeochemical zoning; drain module; complex barrier.*

References

Babushkin V.D. 2003. Nauchno-metodicheskie osnovy zashchity ot zagryazneniya vodozaborov khozyaystvenno-pityevogo naznacheniya [Scientific and methodological principles of protection against pollution of water intakes for household and drinking purposes]. *Eds.* V.D. Babushkin et al. Perm. Perm univ., p. 264. (in Russian)

Vsevolzhskiy V.A. 1983. Podzemnyy stok i vodnyy balans platformennykh struktur [Underground flow and water balance of platform structures]. *Ed.* V.A. Vsevolzhskiy. Moskva, Nedra, p. 167. (in Russian)

Gaev A.Ya. 2018. Fundamentalnye i prikladnye problem gidrosfery. Chast II. Ekologicheskie problem [Fundamental and applied problems of the hydrosphere. Part II. Environmental problems]. *Eds.*

A.Ya. Gaev, M.A. Tikhonenko, Yu.A. Killin. Moskva, University Book, Editorial and Publishing House of the Russian New University, p. 200. (in Russian)

Gaev A.Ya. 1989. Gidrogeokhimiya Urala i voprosy okhrany podzemnykh vod [Hydrogeochemistry of the Urals and issues of groundwater protection]. Sverdlovsk, Ural Univ. Publishing House, p. 368. (in Russian)

Zektser I.S. 1977. Zakonomernosti formirovaniya podzemnogo stoka i nauchno-metodicheskie osnovy ego izucheniya [Patterns of underground runoff formation and scientific, and methodological foundations for its study]. Moskva, Nauka, p. 172. (in Russian)

Kiryukhin V.A. 2008. Obshchaya gidrogeologiya [General hydrogeology]. St. Petersburg, St. Petersburg State. Mining Institute, p. 439. (in Russian)

Kudelin, B.I. 1954. К методике катророваниа подземного стока [On the methodology for underground flow mapping]. Vestn. Moscow State University. 12:117–121. (in Russian)

Lushnikov E.A. 1974. Geologicheskaya deyatel'nost' sovremennykh rek Urala i prilegayushchikh ravnin [Geological activity of modern rivers of the Urals and adjacent plains]. Voronezh, Voronezh Univ. Publishing House. p. 124. (in Russian)

Makarenko F.A. 1960. Zonalnost' podzemnykh vod I eyo znachenie v geologicheskikh protsessakh [Zoning of groundwater and its significance in

geological processes]. In: Problems of hydrogeology. Moskva, pp. 155–156. (in Russian)

Maksimovich G.A. 1964. Hidrogeokhimicheskie zony platform [Hydrogeochemical zones of the platform]. Chemical geography and hydrogeochemistry. 3(4):101–120. (in Russian)

Martin, V.I. 1975. Hidrogeologiya i tipy karsta Bashkirii [Hydrogeology and types of karst of Bashkiria] Dis. cand. geol.-min. sci. Perm. (in Russian)

Perelman, A.I. 1979. Geokhimiya [Geochemistry]. Moskva, Vysshaya shkola, p. 423. (in Russian)