

УДК 556+550.845

Е.И. Барановская¹, К.Е. Питьева², Л.Э. Оролбаева³**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД
АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНОВ МЕЖГОРНОГО ТИПА**

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,
119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1
КГГУ имени акад. У. Асаналиева, 720001, Кыргызская Республика, Бишкек, пр. Чуй, 215,
ФГБУН Геологический институт РАН, 119017, Москва, Пыжевский пер. 7, стр. 1

Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1
KSMU named after akad. U. Asanaliyev, Kyrgyz Republic, 720001, Bishkek, Chui Ave, 215
Geological Institute of Russian Academy of Sciences (GIN RAN), 119017, Moscow, Pyzhevsky lane 7

Основное внимание уделено особенностям формирования артезианских бассейнов межгорного типа. Рассмотрены условия формирования подземных вод артезианского межгорного бассейна Хэйхэ, расположенного в аридном регионе Северо-Западного Китая, и водных ресурсов Тянь-Шаня в пределах Киргизии. Разнообразие гидрогеологического строения участков бассейнов, особенности питания, разгрузки определили разграничение их на районы по особенностям, химическому составу и качеству подземных вод. Описаны факторы, влияющие на формирование подземных вод, охарактеризованы геолого-гидрогеологические, гидродинамические особенности межгорных артезианских бассейнов. Приводится характеристика основных типов потоков подземных вод, их концептуальные модели. Представлен химический состав составляющих их водоносных горизонтов. Результаты позволяют рационально планировать хозяйствование на изучаемых территориях.

Ключевые слова: подземные воды, аридный регион, межгорный артезианский бассейн, химический состав, источники питания, условия формирования.

The article focuses on the features of the formation of artesian basins of intermountain type. The conditions of formation of groundwater of Heihe artesian intermountain basin, located in the arid region of North-Western China, and water resources of the Tien Shan within Kyrgyzstan are considered. The differences in the hydrogeological structure of the basins, the features of recharge / discharge caused them to be divided into areas that are characterized by features in the chemical composition and quality of groundwater. This study describes the factors affecting the formation of groundwater, the geological and hydrogeological, and also hydrodynamic features of intermountain artesian basins. The main pattern of groundwater flows is characterized and the conceptual models of groundwater systems are presented. The chemical composition of their constituent aquifers is characterized. The obtained results provide a scientific basis for rational planning of social-economic management in the water-limited regions.

Key words: groundwater, arid region, artesian basin of intermountain type, chemical composition, source of recharge, conditions of formation.

Введение. При широком распространении территорий с аридным климатом следует учитывать обширность распределения на этих территориях гидрогеологических структур артезианского типа. Из литературных источников следует, что наиболее изучены артезианские бассейны платформенного типа, т.е. приуроченные к артезианским структурам равнинных территорий.

В связи с интенсивным использованием водных ресурсов в горных странах возникла существенная необходимость изучить закономерности их формирования с оценкой количества и качества. Из немногих литературных источников обращают на себя внимание работы, выполненные в артезианском бассейне Хэйхэ (Китай) и в

артезианских бассейнах Тянь-Шаня (Киргизская Республика). Эти артезианские бассейны отличаются от бассейнов платформенного типа главным образом условиями питания, движения и разгрузки подземных вод, взаимосвязью подземных вод с поверхностными, а также с гидрогеохимическими условиями. Они занимают огромную по площади территорию взаимосвязанных межгорных и внутригорных прогибов, испытывающих и в настоящее время тектоническое влияние Тибета и Центральной Азии.

Огромная по площади территория Северо-Западного Китая представляет собой широтно протянувшуюся каменистую пустыню Гоби, меридионально пересекаемую отдельными впадинами.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, вед. инженер, канд. геол.-минер. н.; Геологический институт РАН; e-mail: baranovskaya_kat@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра гидрогеологии, профессор, докт. геол.-минер. н.

³ Киргизский государственный университет геологии горного дела и использования природных ресурсов имени акад. У. Асаналиева, докт. геол.-минер. н.; e-mail: orolbaeval@mail.ru

Впадины включают долины рек, которые берут начало в горах разной высотности, обрамляющих их территории с юга, запада и частично с севера. В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория относится к артезианскому бассейну межгорного типа (АМБ Хэйхэ) [Маринов, 1974]. АМБ Хэйхэ сформировался в четвертичное время в пределах депрессии Гоби в результате интенсивного опускания межгорного пространства и одновременно интенсивного поднятия окружающих горных сооружений. В пределах рассматриваемого бассейна расположена одноименная р. Хэйхэ, протянувшаяся с юга на север, в настоящее время это одна из самых крупных и наиболее интенсивно эксплуатируемых внутриконтинентальных рек аридной северо-западной области Китая. Стремительное социально-экономическое развитие района вызвало высокий спрос на водные ресурсы.

Центральная Азия, включающая горное сооружение Тянь-Шаня с максимальными для рассматриваемой территории значениями высоты над уровнем моря, административно расположена на территории Киргизской Республики. Основные ресурсы подземных пресных вод Киргизии сосредоточены в межгорных артезианских бассейнах. В каждом из таких бассейнов проявлена вся совокупность процессов формирования подземных вод, — их питание, движение, внутреннее перераспределение и расходование [Никитин и др., 1995]. Основные запасы пресных подземных вод приурочены к рыхлообломочным аллювиально-пролювиальным отложениям четвертичного возраста. Подземные воды практически повсеместно распространены в пределах межгорных бассейнов, характеризуются высоким качеством, используются на питьевые, хозяйственно-бытовые, производственные и технические (орошение) нужды. В пределах артезианских бассейнов выделяются потоки подземных вод предгорного типа, междуречий и речных долин.

Киргизия располагает значительными запасами водных ресурсов: естественный суммарный среднегодовой сток рек, формирующихся на территории республики, составляет $44,5 \text{ км}^3$, потенциальные запасы подземных вод — 13 км^3 , 1745 км^3 воды содержится в озерах и 650 км^3 сосредоточено в ледниках. Киргизия — единственная страна в Центральной Азии, водные ресурсы которой полностью формируются на собственной территории [Комплексная..., 2010; Национальный..., 2016], она использует 20–25% от водных запасов, остальной сток поступает в Казахстан, Китай, Таджикистан, Узбекистан. Водные ресурсы Киргизии обеспечивают Казахстан, Узбекистан и 70% Западного Китая — всю территорию Синьцзян-Уйгурского автономного района. Территория Киргизии расположена между отметками высоты 401 и 7739 м (пик Победы) над уровнем

моря, 40,3% площади лежит на высоте 3000 м и выше. Поэтому изучение закономерностей условий формирования подземных вод этих регионов имеет важное значение для экономического развития и жизни населения.

Материалы и методы исследования. В основу методики обработки исходных данных и интерпретации результатов положен естественно-исторический анализ природных геологических, гидрогеологических, ландшафтных и климатических данных. Методические приемы включали гидрогеохимическое классифицирование, разного рода систематизации, широко использован корреляционный анализ, в том числе гидрогеохимическая типизация, приемы составления различных по содержанию карт, графиков и профилей. Также в работе использован принцип комплексности, который состоит в решении ряда проблемных задач региональными методами исследований и моделированием. Характеристика химического состава подземных вод АМБ Хэйхэ осуществлена посредством классифицирования по К.Е. Питьевой [Питьева, 1988].

Результаты исследований и их обсуждение. *Условия формирования подземных вод межгорного артезианского бассейна Хэйхэ.* Артезианский межгорный бассейн Хэйхэ расположен в северо-западной части Китая в области с аридным климатом, где остро стоят вопросы рационального использования ресурсов подземных вод, что связано с опустыниванием, деградацией околородных ландшафтов и региональным снижением уровней подземных вод. Решение этих задач основано на анализе закономерностей формирования подземных вод.

Средняя многолетняя температура воздуха в горах составляет от -3 до $+4$ °С; среднегодовое количество атмосферных осадков >700 мм; многолетняя испаряемость ~ 700 мм/год; в равнинных частях бассейна — 8 °С, <50 мм (до 25 мм, 1000–2000 мм/год соответственно). Рельеф в горах типично горный, в равнинных частях бассейна — равнинно-всхолмленный [Wang et al., 2000; Ping Wang et al., 2014].

Гидрография представлена в основном р. Хэйхэ с общей протяженностью 812 км от истоков в горах Циляншань до впадения на крайнем севере бассейна в озера Джуан (рис. 1). Ветры сильные, с северо-запада дует холодный зимний среднеазиатский муссон, с юго-востока — влажный теплый муссон.

АМБ Хэйхэ представляет собой меридионально вытянутую впадину, через которую с юга на север протягивается р. Хэйхэ. Впадина заполнена рыхлыми терригенными отложениями, которые образовались в четвертичное время в результате разрушения пород горных массивов, окружающих ее, и осложнена южной и северной тектоническими депрессиями. Для рельефа земной поверхности Северо-Западного Китая характерно сочетание

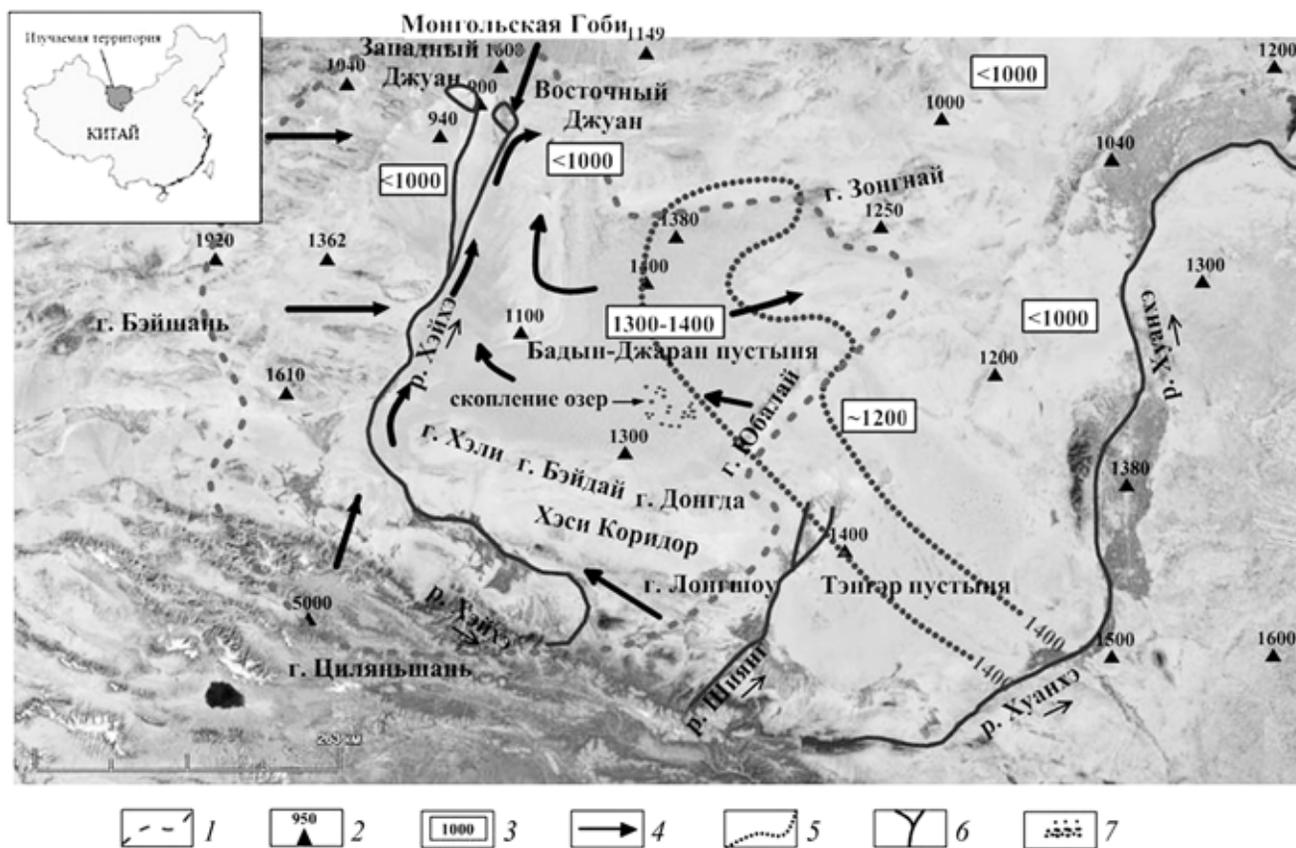


Рис. 1. Обзорная схема расположения АМБ Хэйхэ на территории Северо-Западного Китая: 1 — граница АМБ Хэйхэ; 2 — отметки рельефа земной поверхности, абс. м; 3 — среднее значение отметки рельефа земной поверхности, абс. м; 4 — направление движения потоков подземных вод; 5 — водораздел в пустыне Бадын-Джаран; 6 — река; 7 — скопление озер

огромных пустынных пространств с горными массивами и межгорными впадинами.

АМБ Хэйхэ с трех сторон окружен горами: с юга — горами Циляншань, вершины которых достигают отметок ≥ 5500 м, с запада — горами Бэйшань с максимальными отметками ~ 2000 м, с юго-востока — горами Лонгшоу с отметками ~ 1600 м; на востоке бассейн граничит с пустыней Бадын-Джаран, которую окружают невысокие горы Юбалай (1500 м) и др. (рис. 1). В целом территория бассейна характеризуется северо-восточным погружением до отметок 1000–900 абс. м, что соответствует восточно-северо-восточному погружению Северо-Западного Китая, входящего, по данным Н.А. Маринова [1974], в Центрально-Азиатский гидрогеологический район — область возвышенных равнин и нагорий, находящихся под влиянием новейших тектонических движений Тибета.

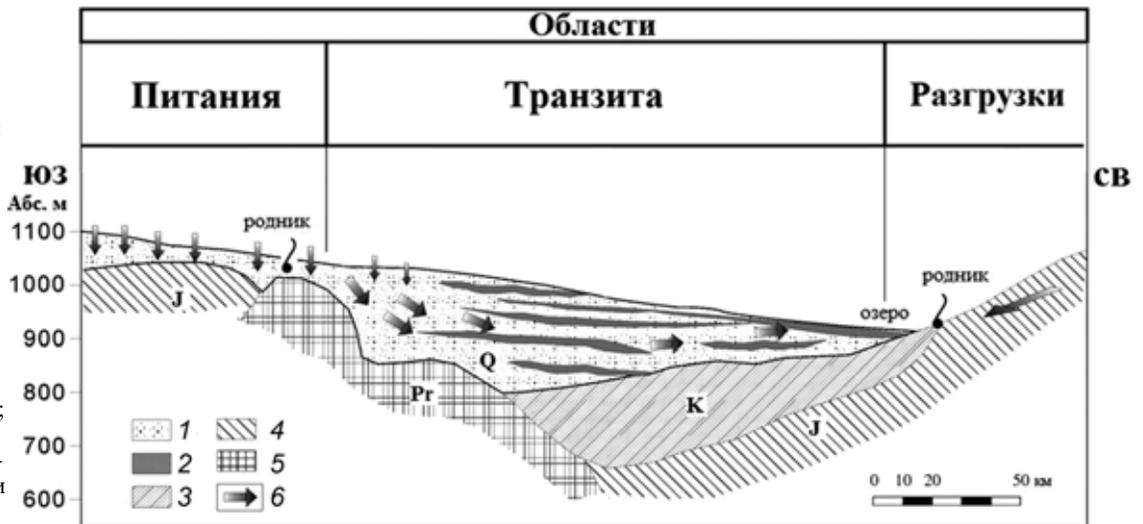
Исследование формирования подземных вод АМБ Хэйхэ показало, что в гидрогеологическом отношении бассейн — единая система, которая представлена мощным водоносным комплексом грунтового типа, сложенным рыхлыми терригенными четвертичными породами, залегающими преимущественно на юрско-меловом (из литифицированных осадочных отложений) фундаменте [Барановская и др., 2016]. Единство условий

формирования подземных вод АМБ Хэйхэ определяется влиянием структурно-геологических, климатических и ландшафтных факторов. Водоносный комплекс характеризуется единством строения в разрезе.

Породы представлены гравийно-галечниковыми, гравийно-песчаными, песчаными и песчано-глинистыми разностями. Рыхлые отложения характеризуются неоднородностью распределения частиц разного размера с тенденцией к их уменьшению с глубиной и в направлении к центральной равнине [Ping Wang et al., 2013]. Глинистые разности неоднородные, мало распространены. Четвертичные отложения залегают на осадочных литифицированных песчаниках и глинах юрского и мелового возраста (рис. 2).

Глубина залегания подземных вод по результатам исследований варьирует в диапазоне от 20 до 50 м в предгорных и горных условиях до 1–3 м в равнинной части бассейна. Фоновые значения глубины их залегания составляют на равнине 2–4 м, меньше фоновых (~ 1 м) — в восточной части бассейна на границе с пустыней Бадын-Джаран, больше фона (5–6 и до 11–12 м) в разгрузочной впадине на северо-востоке бассейна [Ping Wang et al., 2014]. Основные причины различий глубины залегания связаны с неоднородностью рельефа, трещиноватостью пород и с направленностью по-

Рис. 2. Гидрогеологический схематический профиль АМБ Хэйхэ, по [Ping Wang et al., 2013]: 1–5 — отложения: 1 — пески, галька четвертичного возраста; 2 — глины четвертичного возраста; 3 — аргиллиты мелового возраста; 4 — песчаники юрского возраста; 5 — гнейсы протерозойского возраста; 6 — потоки подземных вод



токов подземных вод. Значимость глубины залегания подземных вод проявляется наиболее четко в формировании процессов испарения подземных вод, приводящих в целом к повышению минерализации вод в верхней части бассейна.

Диапазон температуры подземных вод составляет от <10 до 23 °С. Фоновые значения для всего бассейна ~ 16 °С; меньше фона — 11 °С. Такие значения температуры приурочены к горам, предгорьям, северо-западному району (в связи с холодным Среднеазиатским муссоном); больше фона — в водах эндогенного влияния и в пределах эрозионных понижений рельефа. Подземные воды с фоновыми значениями температуры занимают большую часть территории бассейна.

Подземные воды с минерализацией $<0,5$ г/л распространены на юге и востоке (кроме крайнего северо-востока) территории бассейна с компонентным составом $\text{ClHCO}_3\text{SO}_4\text{NaMgCa}$ и $\text{ClSO}_4\text{HCO}_3\text{NaMgCa}$ соответственно (рис. 3).

Воды с минерализацией $0,5\text{--}1,0$ г/л приурочены к западным частям территории бассейна; на западе в их составе $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4$, а на северо-западе — $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3$. Минерализованные воды занимают обширную внутрибассейновую депрессию на северо-востоке бассейна; в них $\text{SO}_4 > \text{HCO}_3$; содержание Cl умеренное, часто $\text{Cl} < \text{SO}_4$, но $\text{Cl} > \text{HCO}_3$.

В южной части бассейна, согласно классификации [Питьева, 1988], выделены районы с минерализацией $<0,5$ г/л, компонентным составом $\text{HCO}_3\text{SO}_4\text{NaMg}(\text{MgNa})$ и с минерализацией $>0,5$, достигающей $3,0$ г/л, преобладают Cl , SO_4 , Na ; в центральной части бассейна воды характеризуются минерализацией $\sim 0,5$ г/л (реже $0,5\text{--}1,0$ г/л), с преобладанием вод состава $\text{SO}_4\text{HCO}_3\text{ClNa}$ (реже SO_4ClNa).

В результате исследований выявлены основные питающие провинции подземных вод АМБ Хэйхэ — горная, горно-речная и со стороны пустыни Бадан-Джаран.

Основные положения, подтверждающие горное питание подземных вод бассейна следующие: 1) пониженная температура подземных вод бассейна в предгорьях и даже на некотором удалении от предгорий к центральным равнинным участкам территории; 2) уменьшение в направлении от питающих горных провинций к области транзита напорного градиента и скорости фильтрации вод; 3) пониженные минерализация и концентрация Cl , Na и повышенная HCO_3 , SO_4 в подземных водах предгорий бассейна и в удаленных от них равнинных частях бассейна; 4) широкое распространение в пределах бассейна пресных подземных вод; 5) несколько уменьшенная температура подземных вод, отобранных на анализ из более глубоких частей разреза бассейна.

Горно-речное питание подземных вод связано со смешением горных вод Бэйшань с водой р. Хэйхэ. Основные положения, подтверждающие горно-речное питание подземных вод бассейна, заключаются в: 1) повышенной минерализации подземных вод до $0,7\text{--}0,8$ г/л вследствие интенсивного углекислотного выщелачивания пород, а также концентрирования компонентов в водах при их испарении; 2) низком содержании иона SO_4 в водах вследствие сульфатредукции.

Основные компоненты, участвующие в увеличении минерализации подземных вод горно-речного питания следующие: Cl , Na , образующие хлорид натрия (Na высвобождается в водах при сульфатредукции, Cl присутствует в водах); HCO_3 , Ca , Mg (гидрокарбонат-ион образуется в водах при сульфатредукции, Ca и Mg поступают в воды из пород при их углекислотном выщелачивании).

Питание со стороны пустыни Бадан-Джаран осуществляется для всей восточной части бассейна. Это подтверждается близкими минерализацией и компонентным составом вод пустыни и восточной части бассейна. Пресные воды, формирующиеся в пределах западных склонов гор Юбалай и других гр, окружающих пустыню, движутся от гор со-

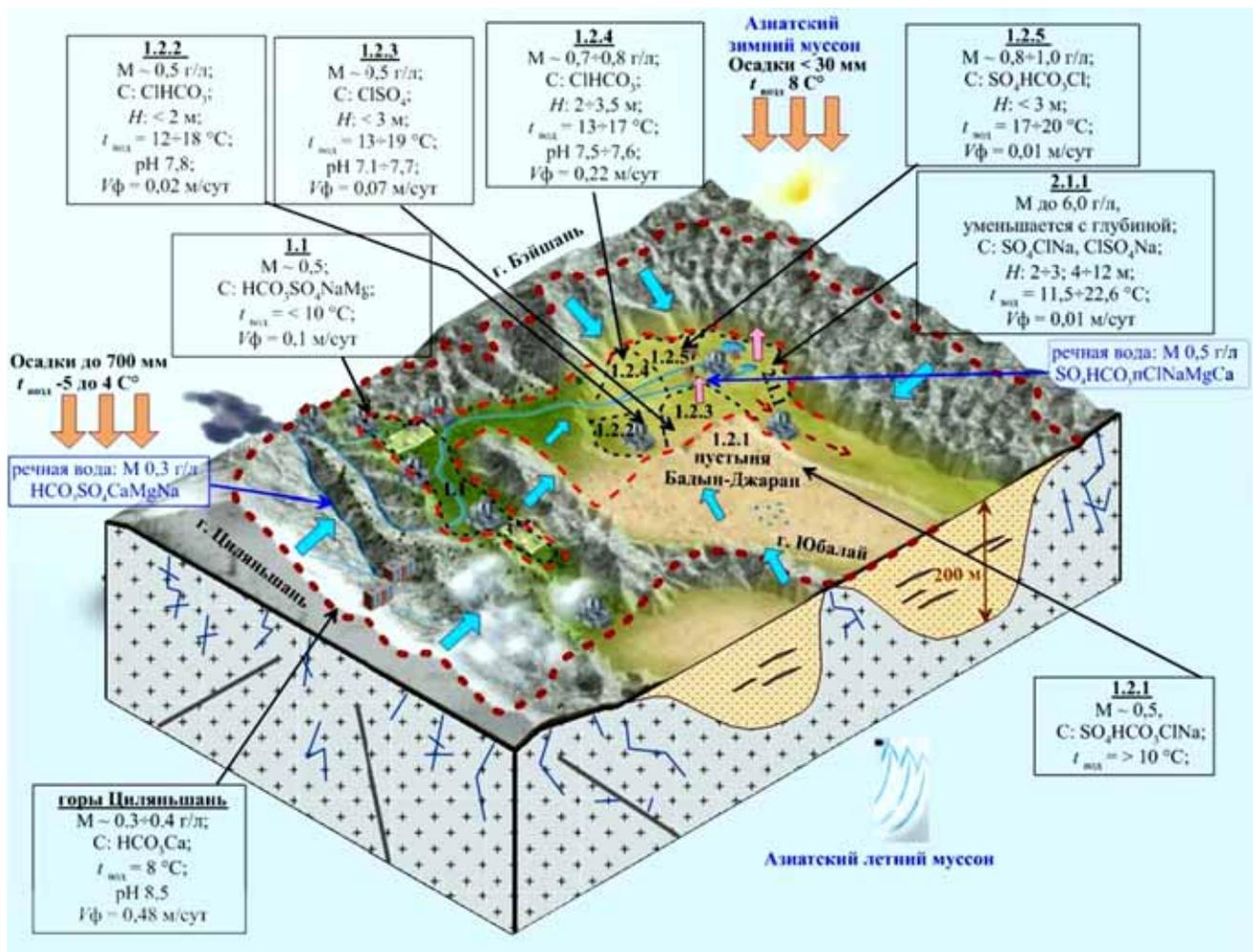


Рис. 3. Схематическая модель гидрогеологического строения и гидрогеохимических условий АМБ Хэйхэ: М — минерализация; С — состав; H — глубина залегания вод; $t_{\text{вод}}$ — температура подземных вод; Vф — скорость фильтрации

гласно понижению рельефа земной поверхности на запад, к восточной окраине АМБ Хэйхэ. Существенное влияние на состав подземных вод восточной окраины бассейна оказывает влажный теплый азиатский муссон, поступающий на территорию АМБ Хэйхэ через межгорные пространства.

Интенсивность питания определяется превышением высоты питающих провинций над равнинной поверхностью бассейна. Максимальные отметки — в пределах основной питающей провинции Цзяньшань (свыше 4000 м); в пределах других гор — ~1000 м; со стороны пустыни Бадын-Джаран — несколько сотен метров.

Количественная оценка потенциального площадного питания подземных вод АМБ Хэйхэ, осуществленная региональными исследованиями на качественном уровне, выполнена посредством геоинформационного моделирования. Геоинформационным моделированием осуществлено также разграничение питающих провинций по степени потенциального питания (рис. 4). Методической основой оценки суммарного стока вод в пределы АМБ Хэйхэ послужили соотношения количества среднесуточных атмосферных осадков, испа-

ряемости и пр. в условиях замкнутого водосборного бассейна, а также детальная характеристика рельефа земной поверхности, полученная по метеостанциям, рассредоточенным по территории бассейна [Будыко, 1971; Wilson et al., 2004; Zhang et al., 2004].

Результаты исследования показали, что диапазон величины среднесуточного питания бассейна во внешних границах составляет $\leq 1 \div 100$ мм/год. Наибольшие величины площадного питания (10–100 мм/год) приурочены к максимальным отметкам гор Цзяньшань, Лонгшоу; меньшие (1–10 мм/год) — к их склонам и вершинам гор Бэйшань, Юбалай и др., а также к пустыне Бадын-Джаран; минимальные (≤ 1 мм/год) к равнинной территории бассейна во внутренних границах.

Следовательно, горные окружения представляют собой основные питающие провинции. Формируется поток подземных вод, направленный от питающих провинций к региональной для всей территории бассейна разгрузочной впадине на северо-востоке (рис. 4).

Условия формирования подземных вод артезианских межгорных бассейнов Тянь-Шаня. При-

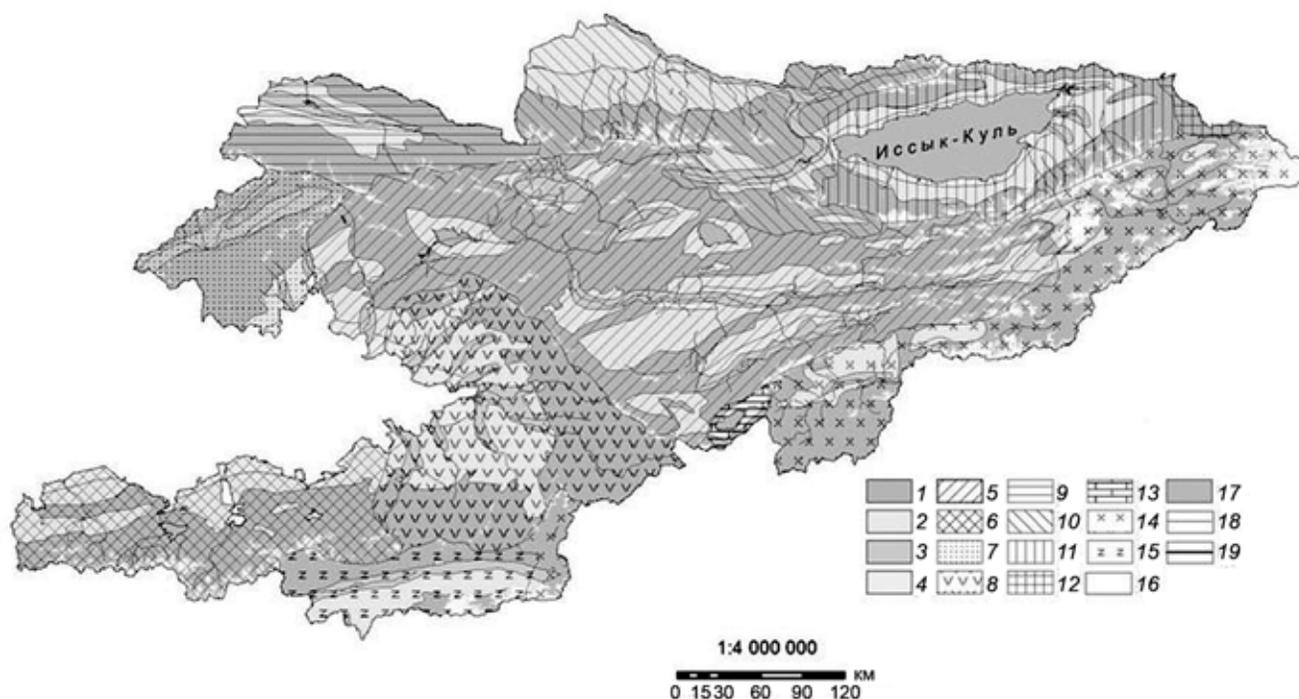


Рис. 5. Карта геогидрологического районирования, по [Оролбаева, 2018]: 1 – гидрогеологические массивы, 2–4 – потоки подземных вод в пределах артезианских бассейнов: 2 – предгорного типа, 3 – речных долин, 4 – междуречий (водораздельные); 5–15 – гидрологические бассейны: 5 – р. Нарын, 6 – рек южного обрамления Ферганской долины (р. Сырдарья), 7 – рек северного обрамления Ферганской долины (р. Сырдарья), 8 – р. Карадарья, 9 – р. Талас, 10 – р. Чу, 11 – оз. Иссык-Куль, 12 – оз. Балхаш, 13 – оз. Чатыр-Куль, 14 – р. Тарим, 15 – р. Амударья; 16 – ледники; 17 – озера; 18 – реки; 19 – границы потоков

находятся в теснейшей взаимосвязи, обуславливающей как взаимное развитие, так и деградацию [Оролбаева, 2013].

В пределах горных хребтов четвертичные отложения образуют прерывистый покров в основном делювиальных и колювиальных образований. Приуроченные к ним грунтовые воды самостоятельного значения, как правило, не имеют, так как они тесно связаны с грунтовыми водами зон открытой трещиноватости палеозойских и протерозойских пород.

Водоупором для грунтовых вод четвертичных отложений в пределах гидрогеологических массивов служат преимущественно палеозойские и протерозойские породы. Их водоупорность относительная, поскольку они трещиноваты. Однако их водопроницаемость в большинстве случаев небольшая, вследствие чего возможно формирование грунтовых вод в залегающих на них четвертичных отложениях.

Основные ресурсы подземных высококачественных пресных вод сосредоточены в межгорных артезианских бассейнах.

Особенности распространения различных генетических типов четвертичных отложений, их литологический состав, водообильность, условия залегания, питания и расходования приуроченных к ним подземных вод, а также ряд других показателей гидрогеологических условий межгорных бассейнов разнообразны, но они подчинены определенным закономерностям. В целом эти закономерности имеют региональный характер и весьма отчетливо отражены в особенностях геоморфологии.

В пределах артезианских бассейнов региональным водоупором для подземных вод четвертичных отложений служат главным образом породы среднего структурного этажа — мощные мезозойско-кайнозойские, в основном палеогеновые и неогеновые молассы. В их составе большое место



Рис. 6. Схема Тянь-Шаньской горной системы, по [Мангельдин, 1991]

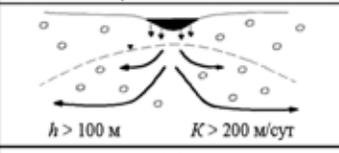
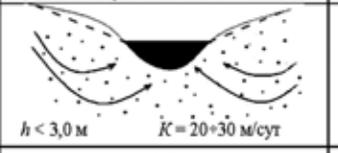
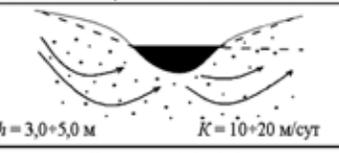
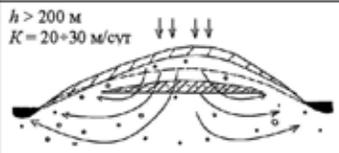
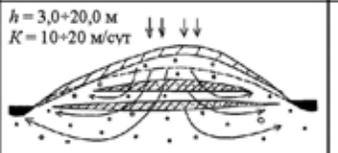
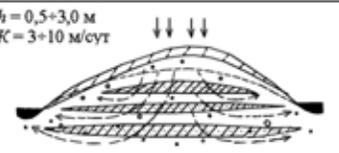
Тип потока, состав, минерализация	Верхняя часть потока	Средняя часть потока	Нижняя часть потока
Предгорный	 $h > 100 \text{ м}$ $K > 200 \text{ м/сут}$	 $h = 10+100 \text{ м}$ $K = 30+50 \text{ м/сут}$	 $h = 3,0+0,5 \text{ м}$ $K = 10+20 \text{ м/сут}$
Минерализация, г/л	до 1,0	до 1,0	до 1,0
Химический состав	гидрокарбонатный кальциевый и кальциево-магниевый	гидрокарбонатный кальциевый и кальциево-магниевый	гидрокарбонатный кальциевый и кальциево-магниевый
Речная долина	 $h > 100 \text{ м}$ $K > 200 \text{ м/сут}$	 $h < 3,0 \text{ м}$ $K = 20+30 \text{ м/сут}$	 $h = 3,0+0,5 \text{ м}$ $K = 10+20 \text{ м/сут}$
Минерализация, г/л	0,2	0,5	Редко до 1,0+1,5
Химический состав	гидрокарбонатный кальциевый	гидрокарбонатный кальциевый	гидрокарбонатный кальциевый
Водораздельный поток (междуречье)	 $h > 200 \text{ м}$ $K = 20+30 \text{ м/сут}$	 $h = 3,0+20,0 \text{ м}$ $K = 10+20 \text{ м/сут}$	 $h = 0,5+3,0 \text{ м}$ $K = 3+10 \text{ м/сут}$
Минерализация, г/л	пестрая до 1,0+2,0	пестрая до 2,0+3,0 – грунтовых, 0,2+0,8 – субнапорных	пестрая до 20,0+30,0 – грунтовых, до 1,5 – напорных
Химический состав	гидрокарбонатный кальциевый	смешанный – грунтовых, гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый-натриевый – напорных	смешанный – грунтовых, гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый-натриевый – напорных

Рис. 7. Модели потоков подземных вод межгорных артезианских бассейнов

занимают глинистые и мергелисто-глинистые породы, алевролиты, конгломераты и песчаники. Водопроницаемость этих отложений намного хуже, чем четвертичных отложений, а основная составляющая — молассы (глины, алевролиты) — практически водоупорные.

В каждом из таких бассейнов действует вся совокупность процессов формирования подземных вод: их питание, движение, внутреннее перераспределение и расходование. Для представления о процессах формирования движения и разгрузки подземных вод применительно к структурам, представляющим различные локальные геосистемы, выделяются потоки подземных вод. Поток подземных вод определяется как проявление движения и баланса региональной структуры подземных вод [Оролбаева, 2013]. Особенности формирования потоков подземных вод зависят от сочетания особенностей рельефа, гидролого-гидрогеологических условий, литологического состава отложений, его мощности.

В соответствии со структурными и орографическими особенностями межгорных артезианских бассейнов в их пределах выделяются потоки подземных вод речных долин, потоки предгорного типа (предгорных шлейфов, подгорных шлейфов и подгорных равнин) и междуречные (водораздельные) потоки (рис. 7). В отличие от П.Г. Григоренко [Григоренко, 1979], выделившего в предгорьях артезианских бассейнов отдельно зоны формиро-

вания и разгрузки, эти зоны для целостного представления динамики, структуры и баланса потоков подземных вод рассматриваются в качестве единой структуры потоков предгорного типа.

Потоки предгорного типа формируются в верхних частях конусов выноса, граничащих с предгорьями. Атмосферные осадки, временные водотоки, ирригационные воды составляют источники их формирования. Вниз по потоку происходит фаціальное замещение валунно-галечников на песчано-гравийные отложения с прослоями суглинков, и в средней части предгорного склона поток подземных вод частично разгружается.

Распространение крупнообломочных фаций территориально совпадает с зоной формирования подземных вод, где формируются значительные естественные ресурсы. В этой зоне глубина залегания подземных вод составляет 100–200 м, по мере удаления от гор или предгорий она уменьшается до 75–25 м в срединных частях предгорных шлейфов. Зона формирования подземных вод широко развита во всех межгорных бассейнах. Вниз по потоку происходит фаціальное замещение водопроницаемых прослоев галечников на суглинки. Средняя часть предгорного склона представляет собой зону выклинивания, где происходит частичная разгрузка подземного потока.

Минерализация воды слабая (до 1 г/л), химический состав гидрокарбонатный кальциевый и кальциево-магниевый.

Потоки подземных вод речных долин. Речные долины в межгорных артезианских бассейнах служат региональными дренами, где происходит разгрузка подземных вод, сформировавшихся в его пределах. Потоки подземных вод речных долин межгорных впадин формируются в крупнообломочных аллювиальных отложениях, не перекрытых с поверхности слабопроницаемыми отложениями. Они характеризуются значительными уклонами; существенными изменениями живого сечения, обусловленными фациальной изменчивостью аллювия; наличием структурных перемычек и сопутствующих им фациальных замещений и др. В связи с этим изменяется направленность взаимосвязи подземных вод с водотоками, что в значительной степени определяет особенности формирования потоков подземных вод.

В межгорных впадинах, таких, как Чуйская, Ферганская, Таласские (подгорно-равнинный геоморфологический комплекс), аллювиальный водоносный горизонт приурочен к потокам долин главных рек Чу, Сырдарья, Талас и др. Эти части долин — главные естественные дренажи поверхностного и подземного стока впадин. Для нижних частей долин весьма характерны процессы руслового и площадного выклинивания подземных вод. За счет этих процессов главные реки впадин получают весьма значительное дополнительное питание.

Минерализация грунтовых вод также преимущественно низкая, химический состав близок к составу поверхностных вод. В целом воды аллювиальных отложений повсеместно пресные, преимущественно гидрокарбонатные кальциевые, с плотным остатком до 0,5 г/л, реже более.

Потоки подземных вод междуречий (водораздельные) выделяются как в гидрогеологических массивах, так и в пределах артезианских бассейнов. В гидрогеологических массивах потоки междуречий характеризуются существенно меньшей протяженностью и расстоянием между смежными речными долинами. Такие потоки характеризуются значительными уклонами, которые в высокогорной зоне могут достигать десятых долей единицы. В артезианских бассейнах горных геосистем междуречные потоки приурочены к аллювиально-пролювиальным, пролювиальным равнинам, где широко развита оросительная сеть.

Основные источники питания потоков междуречий представлены атмосферными осадками, талыми водами сезонного снежного покрова, подземным притоком из зоны формирования подземных вод, дополнительными потерями на фильтрацию местных ирригационных вод, меньшее значение имеет талый сток с ледников и снежников высокогорья. Разгрузка происходит путем выклинивания грунтовых вод и испарения.

Особенности строения разреза междуречных потоков предопределили выделение грунтовых, субнапорных и напорных водоносных горизонтов.

Грунтовые воды распространены в пределах всего потока, субнапорные — в средней, а напорные — в нижней части потока.

Общая минерализация грунтовых вод возрастает до 2–3 г/л в средней части потока и до 10–20 г/л в нижней. В целом же минерализация и химический состав грунтовых вод в средней и нижней частях потоков довольно пестрые. Указанные изменения происходят все же на фоне преимущественно слабой и повышенной минерализации (до 1–3 г/л) и преобладания смешанных типов химического состава вод.

Напорные воды приурочены к прослоям и линзам крупнообломочного материала — галечникам, галечно-гравийным, песчано-гравийным и песчаным породам, залегающим в мощной (до 350–400 м) толще с прослоями суглинков, лёссовых пород и частично глин. Эти прослои и линзы тесно связаны с крупнообломочными фациями. Минерализация напорных вод всюду слабая (0,2–0,8 г/л), химический состав гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый, кальциево-магниевый-натриевый. Минерализация и тип химического состава напорных вод аллювиально-пролювиальных отложений в вертикальном разрезе существенных изменений не претерпевают. Лишь в некоторых случаях имеют место в общем небольшие и неравномерные колебания общей минерализации с глубиной залегания напорных водоносных горизонтов (до 1,3–1,4 г/л), хотя тип химического состава остается примерно тем же — сульфатный натриево-кальциево-магниевый.

Направления и проблемы использования подземных вод. Подземные воды имеют практически повсеместное распространение в пределах межгорных бассейнов, характеризуются высоким качеством и не зависят от сезонных климатических изменений и сопутствующих им явлений, осложняющих водозабор поверхностных вод в виде паводков и селей. Капитальные затраты на извлечение подземных вод достаточно велики, но при надлежащем эксплуатационном обслуживании скважин и насосного оборудования это стабильный источник качественной воды, максимально приближенный к потреблению.

Мощность эксплуатируемых водоносных горизонтов в различных гидрогеологических зонах различная и колеблется от 20 до 500 м.

Анализ процессов изменения подземных вод на территории Киргизии показывает, что они определяются комплексом взаимосвязанных природных и техногенных факторов (таблица).

Водные бассейны и их природные ресурсы испытывают все возрастающую техногенную нагрузку, в результате чего проявляются тенденции к загрязнению и истощению водных ресурсов. Загрязнение подземных вод в значительной степени обусловлено загрязнением окружающей среды в

целом — поверхности земли (почвы, поверхностные воды, атмосфера и атмосферные осадки). Экологические последствия техногенного загрязнения пресных подземных вод выражаются в увеличении их общей минерализации, общей жесткости, содержания нитритов, хлоридов, органических соединений, тяжелых токсичных металлов, а также специфических веществ, свойственных промышленным отходам производства.

Основные источники загрязнения поверхностных и подземных вод — сельскохозяйственные и промышленные предприятия, муниципальные системы канализации, животноводческие фермы и бытовые отходы населения. Подземные воды верхних водоносных горизонтов, имеющие интенсивные связи с поверхностными водами, подвержены загрязнению в большей степени. Источники загрязнения влияют на водные ресурсы по площади, линейно и очагами. В качественном отношении они способствуют формированию органического (фекальные стоки городов, поселков, ферм и др.) и химического (сточные воды промышленных предприятий, ядохимикаты и растворимые удобрения на орошаемых массивах) загрязнения. Причины сброса недостаточно очищенных сточных вод заключаются в неудовлетворительной эксплуатации очистных сооружений, морально и физически устаревших и не соответствующих по мощности объему сброса сточных вод.

Сложную проблему составляет учет и контроль сбросов сточных вод в накопители за пределами крупных городов. К существенным факторам, влияющим на качество водных ресурсов, относится неупорядоченная хозяйственная деятельность в водоохраных зонах и полосах поверхностных водных объектов, а также неудовлетворительное состояние зон санитарной охраны месторождений подземных вод. Этим обусловлены участвовавшие факты загрязнения источников питьевого водоснабжения токсичными веществами и патогенными микроорганизмами. Особенно негативно это проявляется при техногенном загрязнении пресных подземных вод на действующих водозаборах, используемых для водоснабжения, когда по этой причине подземные воды теряют питьевое качество.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Барановская Е.И., Питьева К.Е. Гидрогеологическая структура межгорного артезианского бассейна Хэйхэ (Китай) // *Геоэкология. Инженерная геология. Геоэкология.* 2016. № 6. С. 497–509.

Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.

Григоренко П.Г. Подземные воды бассейна р. Чу и перспективы их использования. Фрунзе: Илим, 1979. 269 с.

Злобина В.Л., Медовар Ю.А., Юшманов И.О. Трансформация состава и свойств подземных вод при изменении окружающей среды. М.: Мир науки, 2017. 191 с.

Факторы, влияющие на изменение подземных вод, по [Злобина и др., 2017; Оролбаева, 2018]

Естественные факторы	Техногенные факторы
1. Физико-географические	1. Разработка месторождений и формирование отходов горно-рудного производства
2. Изменение климата	2. Ирригация
3. Геолого-структурные	3. Регулирование речного стока
4. Эндеогенные и экзогенные процессы	4. Отбор подземных вод
5. Физико-химические процессы	5. Прессинг на горные экосистемы
6. Биохимические процессы	

Заключение. Единство условий формирования подземных вод артезианских бассейнов межгорного типа определяется влиянием комплекса факторов.

Основные факторы формирования подземных вод: а) геологические (структурный, тектонический); б) гидрогеологические (глубина залегания вод, температура); в) гидрогеодинамические (направленность водных потоков, скорость фильтрации); г) гидрогеохимические (длительность протекания процессов и т.д.). Один из основных факторов, определяющих условия формирования и распределения поверхностного и подземного стока, — рельеф. В пределах артезианских бассейнов можно выделить потоки подземных вод предгорного типа, междуречий и речных долин.

Горные окружения представляют собой основные питающие провинции, где формируется поток подземных вод, направленный от питающих провинций к региональной для всей территории бассейна разгрузочной впадине.

Основные запасы пресных подземных вод приурочены к рыхлообломочным аллювиально-пролювиальным отложениям четвертичного возраста.

Артезианские бассейны межгорного типа характеризуются преобладанием пресных подземных вод, относительно слабым распространением подземных вод с превышением над ПДК по минерализации, жесткости, а воды используются для питьевых, хозяйственно-бытовых, производственных и технических (орошение) нужд.

Финансирование. Исследование выполнено при поддержке проекта РНФ (проект № 18-17-00245).

Комплексная оценка природных ресурсов 2008–2010. Кыргызстан. Бишкек, 2011. 158 с.

Мангельдин Р.С. Ресурсы пресных подземных вод внутригорных впадин Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 1991. 148 с.

Маринов Н.А. Гидрогеология Азии. М.: Недра, 1974. 576 с.

Национальный доклад о состоянии окружающей среды Кыргызской Республики за 2011–2014 гг. Бишкек, 2016. 163 с.

Никитин Р.М., Фиделли И.Ф., Поздняков С.П. Формирование ресурсов пресных подземных вод межгорных

впадин Средней Азии. Водные ресурсы // Водные ресурсы. 1995. Т. 26, № 1. С. 5–13.

Оролбаева Л.Э. Геогидрология горных стран (на примере Тянь-Шаня и Памиро-Алая). Бишкек: Текник, 2013. 185 с.

Оролбаева Л.Э. Техногенные трансформации гидрогеосферы Кыргызской Республики // Изв. Урал. гос. горн. ун-та. 2018. № 4. С. 67–71.

Питьева К.Е. Гидрогеохимия. 2-е изд. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 316 с.

Питьева К.Е., Барановская Е.И., Ван Пин, Цзинцзе Юй. Гидрогеохимические условия грунтового водоносного комплекса артезианского бассейна Хэйхэ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2015. № 2. С. 106–115.

Ping Wang, Jingjie Yu, Yichi Zhang, Changming Liu. Groundwater recharge and hydrogeochemical evolution in the Ejina Basin, northwest China // J. Hydrology. 2013. Vol. 476. P. 72–86.

Ping Wang, Grinevsky S.O., Pozdniakov S.P. et al. Application of the water table fluctuation method for estimating evapotranspiration at two phreatophyte-dominated sites

under hyper-arid environments // J. Hydrol. Elsevier BV. 2014. Vol. 8, N 519. P. B(0). P. 2289–2300.

Ping Wang, Jingjie Yu, Pozdniakov S.P. et al. Shallow groundwater dynamics and its driving forces in extremely arid areas: a case study of the lower Heihe River in northwestern China // Hydrolog. Processes. 2014. Vol. 28, N 3. P. 1539–1553.

Wang G., Cheng G. The characteristics of water resources and the changes of the hydrological process and environment in the arid zone of northwest China // Environ. Geol. 2000. Vol. 39 (N 7). P. 783–790.

Wilson J.L., Guan H. Mountain-block hydrology and mountain-front recharge, in Groundwater recharge in a desert environment // The Southwestern United States. Water Science and Applications Ser., Amer. Geophys. Un. Washington, D.C., 2004. N 9. P. 113–137.

Zhang L., Hickel K., Dawes W.R. A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration // Water Res. 2004. Vol. 40, W02502. DOI: 10.1029 / 2003WR002710.

Поступила в редакцию 26.10.2020

Поступила с доработки 05.06.2021

Принята к публикации 03.08.2021