

ФОРМИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕЧНЫХ ДОЛИН МЕЖГОРНЫХ БАССЕЙНОВ ТЯНЬ-ШАНЯ И ПАМИРО-АЛАЯ

Л. Э. Оролбаева

Formation of groundwater in the river valleys of intermountain basins of Tien-Shan and Pamir-Alai

L. E. Orolbaeva

Mountain ridges divide the territory into drainage basins within which special natural conditions appear: climatic, geological-hydrogeological, hydrological, ecosystem. The article contains the characteristics of the geological-hydrogeological structure of intermountain artesian basins of Tien-Shan and Pamir-Alai. The author considers factors influencing the formation of water resources of intermountain basins and gives characteristics of river feeding types and main sources of groundwater formation in river valleys. One can see presented hydrodynamic features of basins and a map of geohydrological zoning of the Kyrgyz Republic. Surface and underground waters of mountain geosystems of Tien-Shan and Pamir-Alai are closely and intricately interconnected. For the Tien-Shan basins, the article contains data on the magnitude of the loss of river flow for infiltration and groundwater feeding. The author considers features of formation, movement and unloading of underground water streams of artesian basins, as well as the factors of formation of infiltration losses from riverbeds and supply of groundwater flows. The article presents the analysis of the formation of infiltration losses from riverbeds and discharge of groundwater into rivers. The article also contains a description of the regularity of the confinement of sites with the highest specific losses of river flows to certain river fragments. For the basins of the rivers Chu and Naryn, there is data on the discharge of groundwater into rivers. The study of the features of the interaction of groundwater and surface water based on special hydrometric studies and balance studies has made it possible to identify the types of their interconnections and their connection with specific sections of river valleys of mountain geosystems. The results obtained will allow correct organizing of the formulation and conduct of further research.

Keywords: intermountain basins; mountain ecosystems; groundwater; infiltration; discharge of groundwater; interconnection of underground and surface waters.

Горные хребты разделяют территорию на бассейны стока, в пределах которых формируются особые природные условия: климатические, геолого-гидрогеологические, гидрологические, экосистемные. Приведена характеристика особенностей геолого-гидрогеологического строения межгорных артезианских бассейнов Тянь-Шаня и Памиро-Алая. Рассмотрены факторы, влияющие на формирование водных ресурсов межгорных бассейнов. Даны характеристика типов питания рек и основные источники формирования подземных вод речных долин. Рассмотрены гидродинамические особенности бассейнов, приведена карта геогидрологического районирования Кыргызской Республики. Поверхностные и подземные воды горных геосистем Тянь-Шаня и Памиро-Алая тесно и сложно взаимосвязаны. Для бассейнов Тянь-Шаня приведены данные о величине потерь речного стока на инфильтрацию и питание подземных вод. Рассмотрены особенности формирования, движения и разгрузки потоков подземных вод артезианских бассейнов. Рассмотрены факторы формирования инфильтрационных потерь из русел рек и питания потоков подземных вод. Дан анализ формирования инфильтрационных потерь из русел рек и разгрузки подземных вод в реки. Описана закономерность приуроченности участков с наибольшими значениями удельных потерь расходов рек к определенным фрагментам рек. Для бассейнов рек Чу и Нарын приведены данные о величине разгрузки подземных вод в реки. Изучение особенностей взаимодействия подземных и поверхностных вод на основе специальных гидрометрических работ и балансовых исследований позволило выделить типы их взаимосвязи и приуроченность к особым участкам речных долин горных геосистем. Полученные результаты позволяют правильно организовать постановку и проведение дальнейших исследований.

Ключевые слова: межгорные бассейны; горные экосистемы; подземные воды; инфильтрация; разгрузка подземных вод; взаимосвязь подземных и поверхностных вод.

Введение
Исследование природы и изменчивости водных ресурсов является одной из важнейших проблем устойчивого развития горных стран. Горы в Кыргызстане занимают 94 % территории, а равнины в пределах межгорных впадин – 6 %. Особые гидрологические, климатические и геолого-гидрогеологические условия определяют формирование потоков подземных вод и активность процессов их взаимодействия с поверхностными водами [1]. Подземные воды наряду с поверхностными водами, сформировавшиеся на территории Кыргызстана, используются для целей орошения и питьевого водоснабжения не только в пределах Кыргызстана, но и в сопредельных странах Центральной Азии, в связи с чем изучение условий формирования потоков подземных вод, их строения и структуры, режима и баланса приобретает особую значимость.

Направления и результаты исследований

Наибольшее число рек (46 %) характеризуется ледниково-

снеговым типом питания, около 43 % рек имеют снегово-ледниковое питание, значительно меньшее число рек – снеговое (10 %) и, наконец, меньше всего рек, имеющих снегово-дождевое питание. Почти все реки в той или иной мере получают дополнительное питание за счет разгрузки подземных вод.

Сложность рельефа – глубокая расчлененность, различная экспозиция горных склонов по отношению к солнцу и влажным северным и северо-западным воздушным течениям – обуславливает исключительное разнообразие особенностей климата и определяет четко выраженную климатическую поясность. Климат Памиро-Алая имеет много общего с резко континентальным климатом Тянь-Шаня, однако отличается от последнего значительной стабильностью погоды, имеет меньшую влажность воздуха и большее число солнечных дней. Результаты исследований, выполненных О. А. Подрезовым и другими исследователями [2, 3] по ретроспективной оценке температур и количества осадков для горных территорий, свидетельствуют о мозаичности микроклиматов в горах, существенно зависящих от ландшафтной неоднородности, экспозиций склонов, состояния и наличия лесных экосистем. Основным источником, пополняющим водные ресурсы, являются осадки, выпадающие на водосборной площади, на количество которых в горных странах значительное влияние оказывают лесистость горных склонов, состояние ледниковых и лесных экосистем. Изучение различных ландшафтов на Тянь-Шане показало, что годовые суммы инфильтрационного питания на лесопокрываемой территории в 2–2,5 раза превышают их значения по сравнению с территориями, не покрытыми лесом.

Горные хребты разделяют территорию на бассейны стока, в пределах которых формируются особые природные условия: климатические, геолого-гидрогеологические, гидрологические, экосистемные [4–8]. Здесь все компоненты этой весьма сложной геосистемы находятся в теснейшей взаимосвязи, обуславливающей как взаимное развитие, так и деградацию. В пределах гидрологических бассейнов стока горных геосистем Тянь-Шаня выделяются артезианские бассейны межгорных и внутригорных впадин и гидрогеологические массивы. Каждый из таких бассейнов охватывает всю совокупность процессов формирования подземных вод: их питания, движения, внутреннего перераспределения и расходования. На рис. 1 представлена карта геогидро-

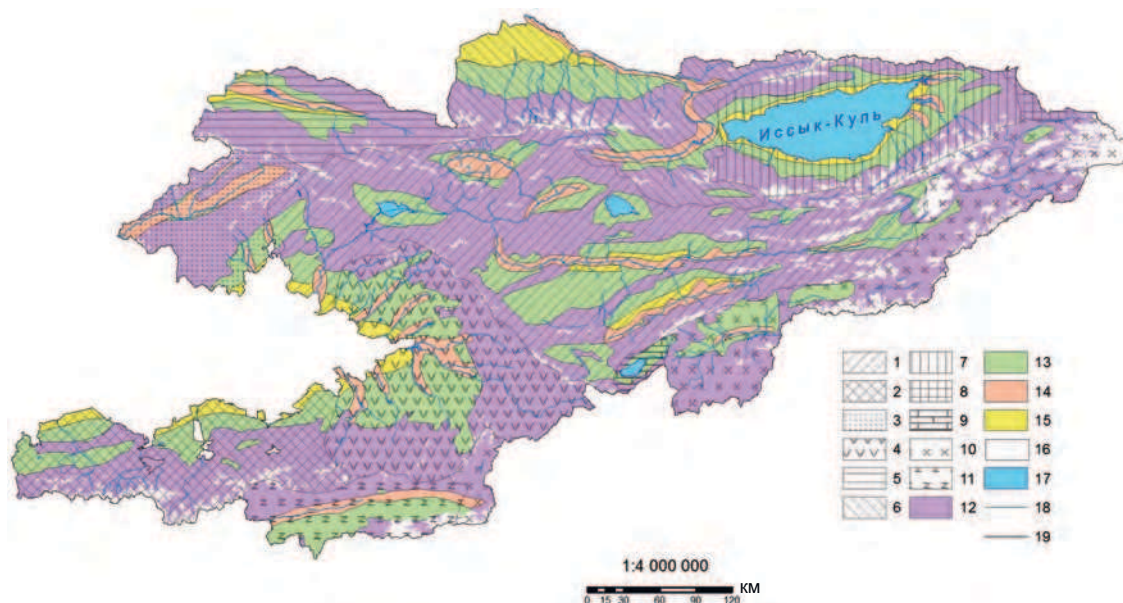


Рисунок 1. Карта геогидрологического районирования Кыргызской Республики. 1–11 гидрологические бассейны: 1 – р. Нарын; 2 – рек южного обрамления Ферганской долины (р. Сырдарья); 3 – рек северного обрамления Ферганской долины (р. Сырдарья); 4 – р. Карадарья; 5 – р. Талас; 6 – р. Чу; 7 – оз. Иссык-Куль; 8 – оз. Балхаш; 9 – оз. Чатыр-Куль; 10 – р. Тарим; 11 – р. Амударья; 12–17 – потоки подземных вод; 12 – гидрогеологических массивов; 13 – предгорного типа; 14 – речных долин; 15 – междуречные (водораздельные); 16 – ледники; 17 – озера; 18 – реки; 19 – границы потоков.

логического районирования Кыргызстана с основными гидрологическими бассейнами и потоками подземных вод. Весьма значительные амплитуды абсолютных высот, сложный рельеф, гидрография и климат, экосистемы, особенности геологического развития и другие природные факторы предопределили закономерности формирования поверхностного и подземного стоков, их взаимосвязь, особенности распространения подземных вод в различных гидрогеологических структурах и их гидродинамику. Здесь формируются особые гидрологические, климатические и геолого-гидрогеологические условия.

В пределах бассейнов стока, границы которых определяются водоразделами горных хребтов, и в соответствии с региональным гидрогеологическим районированием, где в качестве основы приняты геологические структуры и геоморфологические особенности, выделены гидрогеологические массивы и артезианские бассейны. Гидрогеологические массивы приурочены к горным хребтам и представляют собой области питания подземных вод внутригорных и межгорных бассейнов подземных вод, приуроченных к межгорным впадинам. Все они сложно построены и обладают рядом отличительных черт, прежде всего характеризуются наличием трех гидрогеологических (структурно-гидрогеологических) этажей или этажей подземных вод, отвечающих трем структурно-геологическим этажам: нижнему, среднему и верхнему. Они отличаются литологическим составом водовмещающих пород, характером водопроницаемости и особенностями распространения подземных вод соответственно.

Нижний этаж образуют породы палеозойского и протерозойского возраста с резко преобладающим трещинным харак-

тером водопроницаемости. Средний этаж объединяет мезозойско-кайнозойские отложения, верхний – неоген-нижнечетвертичные. Характер водопроницаемости порово-трещинный и трещинный, реже – поровый. Среди них часто встречаются практически водоупорные породы. Подземные воды этих этажей находятся в условиях затрудненного и весьма затрудненного движения, которое возникает преимущественно под влиянием геологических процессов. Верхний этаж отличается почти повсеместно большей мощностью и включает различные по генезису и составу четвертичные отложения с преимущественно поровым характером водопроницаемости. В них образуются наиболее мощные водоносные горизонты. Верхний этаж характеризуется условиями свободного и затрудненного водообмена, а также движением подземных вод вследствие инфильтрационного питания от орографических водоразделов к базисам дренирования.

Гидродинамические особенности межгорных бассейнов определяются их размерами, малыми (в пределах 10–60 км) расстояниями от области питания до области разгрузки, значительной (до 3–4 км) мощностью осадочного чехла, невыдержанностью по площади и разрезу водоносных и водоупорных пластов, блоковостью строения большинства структур, наличием в пределах межгорных впадин большого числа малых артезианских бассейнов с самостоятельными водными циклами. Большое влияние на гидродинамические особенности бассейнов оказывает связь подземных вод с поверхностными водотоками и водоемами. Поверхностные и подземные воды горных геосистем Тянь-Шаня и Памиро-Алая тесно и сложно взаимосвязаны. Формирование мощных потоков подземных вод осуществляется

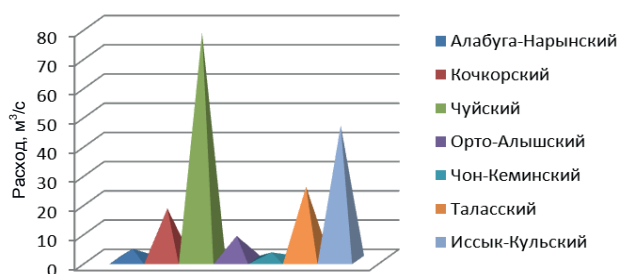


Рисунок 2. Характеристика потерь речного стока на инфильтрацию и питание подземных вод артезианских бассейнов.

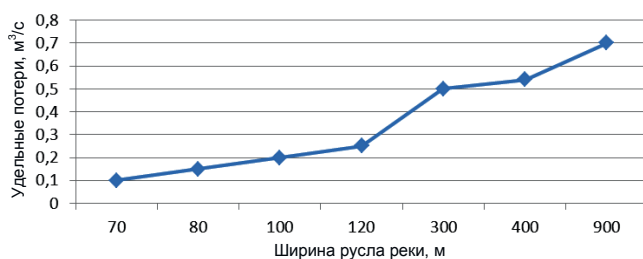


Рисунок 3. Зависимость инфильтрационных потерь от ширины русла реки.



Рисунок 4. Факторы, влияющие на инфильтрацию из русел рек и формирование подземных вод.

главным образом за счет потерь речного стока на инфильтрацию в крупнообломочные четвертичные отложения верховий конусов выноса, обрамляющих предгорья. На рис. 2 приведены данные для некоторых бассейнов, где проведена такая оценка.

Особенности геофильтрации – формирование, движение и разгрузка потоков подземных вод артезианских бассейнов – определяются особенностями структурно-литологического строения территории, характером залегания водовмещающих пород, гидрогеологическими условиями и водохозяйственной деятельностью. Сложены они аллювиальными, аллювиально-пролювиальными, пролювиальными и делювиальными гравийно-галечными отложениями мощностью от нескольких десятков до нескольких сотен метров, залегающими на палеоген-неогеновых, а иногда непосредственно на разновозрастных палеозойских образованиях. В верхней части (по течению водотока) бассейнов подземные воды формируются вследствие инфильтрации поверхностных вод и частично скрытого дренирования подземных вод, окружающих горных массивов. Особого внимания и более подробного рассмотрения заслуживают области интенсивных потерь речного стока на питание подземных вод, составляющих до 50–75 % общего стока рек при их выходе из предгорий во впадины. Именно здесь происходит формирование запасов всех выделенных месторождений прекрасного качества подземных вод, используемых для питьевого водоснабжения. Их потенциальные запасы оцениваются в 13 км³. При этом как инфильтрационные потери, так и разгрузка подземных вод весьма неоднородны в пределах участков реки с определенным типом взаимосвязи. Так, участки с наибольшими значениями удельных потерь приурочены к фрагментам реки, где ширина русла резко увеличивается (рис. 3).

Анализ процессов инфильтрационного питания свидетельствует о его сложной и многофакторной зависимости [9–13]. К естественным факторам, определяющим инфильтрационное питание подземных вод, относятся ландшафтные, метеорологические и геолого-гидрогеологические (рис. 4).

Применительно к конкретному природному объекту, для которого инфильтрационное питание является определяющим в формировании, эти факторы должны анализироваться.

Оценке и анализу должны подвергаться и техногенные факторы, в особенности те, которые способствуют снижению инфильтрационного питания, сокращению запасов подземных вод [12–15]. Как показывают результаты анализа, весьма существенное влияние на снижение инфильтрации оказывают строительство обводных каналов в бетонных руслах, сокращение и необязательность экологических пропусков по рекам, вырубка пойменных лесов. Подземные воды, сформировавшиеся за счет инфильтрационных потерь из русел рек, в основном пресные, безнапорные. Только в центральных частях крупных впадин благодаря переслаиванию гравийно-галечных образований мелкоземными нижние водоносные горизонты становятся субнапорными и напорными. По мере движения подземных вод к нижней части бассейнов емкость водовмещающих пород переполняется вследствие их ограниченного объема и обилия источников питания. Поэтому уже в средних частях бассейнов подземные воды выклиниваются в реки и коллекторно-дренажную сеть. Участки наиболее интенсивной разгрузки приурочены к наиболее узким частям долин, что связано с особенностями блокового строения фундамента и литолого-фациальной смены в аллювиальных отложениях. О размерах участия подземных вод в формировании речного стока свидетельствуют данные, приведенные в качестве примера для рек Чуйского и Нарынского бассейнов (рис. 5).

Далее вниз по течению рек запасы подземных вод постоянно пополняются. В речных долинах аккумулируется и транспортируется на значительные расстояния инфильтрующаяся часть не только поверхностных, но и подземных вод со всей прилегающей территории. Вследствие этого к речным долинам приурочены наиболее крупные месторождения пресных вод, которые являются источником питьевого водоснабжения для всех расположенных вблизи населенных пунктов. Анализ природы формирования ин-

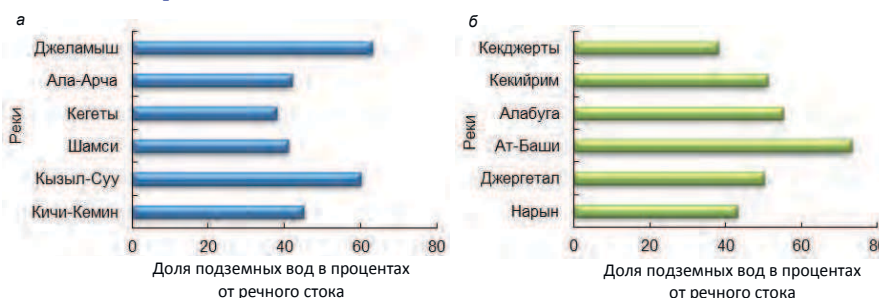


Рисунок 5. Участие подземных вод в формировании речного стока. а – бассейна р. Чу; б – бассейна р. Нарын.

Типизация взаимосвязи подземных и поверхностных вод в речных долинах горных геосистем Тянь-Шаня и Памиро-Алая.

Участок реки	Тип взаимосвязи	Типовая схема в разрезе	Направление потока подземных вод относительно реки	Средний процент стока
Верховья реки	Постоянное дренирование обоими берегами		Нормально направлению реки	40–70
Верхняя часть долины	Постоянные инфильтрационные потери из русла реки		Свободное	До 60
Средняя часть долины со структурными перемычками	Постоянное дренирование обоими берегами		Нормально направлению реки	30–100
Центральные части долины со структурными перемычками	Переменное дренирование обоими берегами		Нормально направлению реки	20
Среднее, центральное течение реки	Постоянный приток-отток		Нормально одному из берегов	0
Среднее, центральное течение реки	Переменный приток-отток		Нормально одному из берегов	До 10
Центральные части долины	Слабая взаимосвязь, ее отсутствие		Параллельно направлению русла	0

фильтрационных потерь из русел рек, выполненный на основе специальных гидрометрических работ, показывает, что существенное влияние на их величину оказывает изменение морфометрических характеристик долины: ширины русла и поймы, особенностей тектонического строения долины. Влияют также изменение состояния пойменных экосистем и строительство обводных каналов в бетонных руслах. Анализ особенностей взаимодействия подземных и поверхностных вод, выполненный на основе специальных гидрометрических и балансовых исследований, позволил выделить типы их взаимосвязи и приуроченность к особым участкам речных долин в пределах горных геосистем (таблица).

В нижнем течении реки приобретают равнинный облик и характеризуются спокойным течением и меандрированием русел. Здесь отмечаются участки реки, где взаимосвязь с подземными водами на противоположных берегах имеет разную направленность. Эта закономерность особенно четко прослеживается на примере долины р. Чу. В пределах межгорных бассейнов полностью заканчиваются все гидродинамические процессы, составляя единый цикл: формирование, накопление, движение и разгрузка подземных вод. Однако сам гидродинамический процесс здесь очень сложный.

Выводы

Инфильтрационные потери из русел рек и разгрузка подземных вод в реки весьма неоднородны в пределах участков с однотипной взаимосвязью. Эту неоднородность определяет изменение морфометрических характеристик долины: ширины русла и поймы, особенности тектонического строения.

Анализ особенностей взаимодействия подземных и поверхностных вод Тянь-Шаня и Памиро-Алая позволил выделить типы их взаимосвязи и приуроченность к определенным участкам речных долин, определить средний процент стока.

Выделенные типы взаимосвязи подземных вод с реками горных геосистем Тянь-Шаня и Памиро-Алая, характеристика ориентированности потоков подземных вод и приуроченность к определенным участкам позволяют целенаправленно проводить дальнейшие исследования.

ЛИТЕРАТУРА

- Оролбаева Л. Э. Геогидрология горных стран (на примере Тянь-Шаня и Памиро-Алая). Бишкек: Текник, 2013. 185 с.
- Подрезов О. А. Современный климат Бишкека, Чуйской долины и Северного склона Киргизского хребта. Бишкек, 2013. 201 с.

3. Dietz A. et al. Identifying changing snow cover characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from remote sensing Data // Remote Sensing. 2014. Vol. 6(12). P. 12752–12775.
4. Orolbaeva L. E. Impact of afforestation and reforestation on local communities // Economic and Social Assessment FAO. Rome, Italy, 2009. 51 p.
5. Mountain Forests in a Changing World. Geneva: FAO, 2011. 84 p.
6. Holmes R. M. The importance of ground water to stream ecosystem function // Streams and Ground Waters. New York: Academic Press, 2000. P. 137–147.
7. Howard K., Mailer H. S., Mattson S. L. Ground-surface water interaction and the role of the hyporheic zone // Ground water and Ecosystems. Netherlands, 2006. P. 131–143.
8. Ecosystems and human well-being: Health Synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment, 2005. 138 p.
9. Шестаков В. М., Поздняков С. П. Геогидрология. М.: Академкнига, 2003. 175 с.
10. Оролбаева Л. Э. Опыт-фильтрационные наблюдения в речных долинах межгорных впадин Тянь-Шаня. Бишкек: Илим, 1986/ 180 с.
11. Гриневский С. О. Модельный анализ природных факторов формирования инфильтрационного питания подземных вод // Комплексные проблемы гидрогеологии: тез. докл. науч. конф. СПб.: СПб. ун-т, 2011. С. 58–60.
12. Grinevskiy S. O., Pozdniakov S. P. Simulation of regional-scale groundwater recharge and its change under transient climate conditions // Calibration and Reliability in Groundwater Modeling «Managing Groundwater and the Environment»: Proceeding of the 7th International conference on calibration and reliability in groundwater modeling ModelCARE, Wuhan. China, China University of Geosciences, 2009. P. 499–502.
13. Bhagu R. Chahar, Suman K. Dhaka. Groundwater Modeling of Banas River Basin // World Environmental and Water Resources Congress (Cincinnati, Ohio, May 19–23, 2013). Reston: ASCE, 2013. P. 450–459.
14. Шестаков В. М., Невечеря И. К., Авилина И. В. Методика оценки ресурсов подземных вод на участках береговых водозаборов. М.: МГУ, 2009. 192 с.
15. Steven M. Gorelick, Chunmiao Zheng. Global change and the groundwater management challenge // Water Resources Research. 2015. Vol. 51. P. 3031–3051.
2. Podrezov O. A. 2013, *Sovremennyy klimat Bishkeka, Chuyskoy doliny i Severnogo sklona Kirgizskogo khrebt* [The modern climate of Bishkek, Chui valley and the northern slope of the Kirghiz ridge], Bishkek, 201 p.
3. Dietz A. et al. 2014, Identifying changing snow cover characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from remote sensing Data. Remote Sensing, vol. 6(12), pp. 12752–12775.
4. Orolbaeva L. E. 2011, Impact of afforestation and reforestation on local communities. Economic and Social Assessment FAO, Rome, 51 p.
5. 2011, Mountain Forests in a Changing World, Geneva: FAO, 84 p.
6. Holmes R. M. 2000, The importance of ground water to stream ecosystem function. Streams and Ground Waters, New York, pp. 137–147.
7. Howard K., Mailer H. S., Mattson S. L. 2006, Ground-surface water interaction and the role of the hyporheic zone. Ground water and Ecosystems, Netherlands, pp.131–143.
8. 2005, Ecosystems and human well-being: Health Synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment, 138 p.
9. Shestakov V. M., Pozdnyakov S. P. 2003, Geogidrologiya[Geohydrology], Moscow, 175 p.
10. Orolbaeva L. E. 1986, *Opytno-fil'tratsionnye nablyudeniya v rechnykh dolinakh mezhgornykh vpadin Tyan'-Shanya* [Experimental-filtration observations in river valleys of the intermountain basins of the Tien-Shan], Bishkek, 180 p.
11. Grinevskiy S. O. 2011, *Model'nyy analiz prirodnykh faktorov formirovaniya inf'il'tratsionnogo pitaniya podzemnykh vod* [Model analysis of natural factors of formation of infiltration feed of groundwater]. *Kompleksnyye problemy gidrogeologii: tez. dokl. nauch. konf.* [Complex problems of hydrogeology: thesis of report of scientific Conference], Saint Petersburg, pp. 58–60.
12. Grinevskiy S. O., Pozdniakov S. P. 2009, Simulation of regional-scale groundwater recharge and its change under transient climate conditions. Calibration and Reliability in Groundwater Modeling "Managing Groundwater and the Environment": Proceeding of the 7th International conference on calibration and reliability in groundwater modeling ModelCARE, Wuhan. China, pp. 499–502.
13. Bhagu R. Chahar, Suman K. Dhaka 2013, Groundwater Modeling of Banas River Basin. World Environmental and Water Resources Congress (Cincinnati, Ohio, May 19–23, 2013), Reston, pp. 450–459.
14. Shestakov V. M., Nevecherya I. K., Avilina I. V. 2009, *Metodika otsenki resursov podzemnykh vod na uchastkakh beregovykh vodozaborov* [Method for assessing groundwater resources in coastal water intake sites]. Moscow, 192 p.
15. Steven M. Gorelick, Chunmiao Zheng 2015, Global change and the groundwater management challenge. Water Resources Research, vol. 51, pp. 3031–3051.

REFERENCES

1. Orolbaeva L. E. 2103, *Geogidrologiya gornyykh stran (na primere Tyan'-Shanya i Pamiro-Alaya)* [Geohydrology of mountainous countries (on the example of Tien-Shan and Pamir-Alai)]. Bishkek, 185 p.

Лидия Эргешевна Оролбаева,

orolbaeval@mail.ru

Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова
Кыргызская Республика, Бишкек, просп. Мира, 66

Lidiya Ergesheva Orolbaeva,

orolbaeval@mail.ru

Institute of Mining and Mining Technologies
Bishkek, Kyrgyzstan