

УДК 575.3:550.4 (575.1–25)

ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИТАШКЕНТСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА (РЕСПУБЛИКА УЗБЕКИСТАН)

Гусева Наталья Владимировна,

канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр. научно-образовательного центра
«Вода», доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии
и гидрогеоэкологии Института природных ресурсов ТПУ,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 30. E-mail: guseva24@yandex.ru

Отакулова Юлия Александровна,

мл. науч. сотр. Государственного Предприятия «Институт Гидрогеологии
и Инженерной Геологии имени О.К. Ланге», Республика Узбекистан,
100041, г. Ташкент, ул. Олимлар, д. 64. E-mail: yuliya_otakulova@mail.ru

Водные ресурсы играют значительную роль в экономическом развитии Ташкентской области Республики Узбекистан, подземные воды Приташкентского артезианского бассейна используются для питьевого водоснабжения городского и сельского населения, производственно-технических нужд и орошения земель. В этой связи, актуальными являются вопросы исследования особенностей формирования химического состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна для целей прогноза изменения их качества.

Цель работы: исследование особенностей формирования химического состава подземных вод Ташкентской области с позиций анализа эволюционного развития системы вода–порода.

Методы исследования: для комплексного исследования равновесия подземных вод с горными породами использованы методы равновесной термодинамики. Для определения химического состава подземных вод применялись классические методы анализа.

Результаты: Исследованы особенности химического состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна. Выявлены закономерности поведения основных ионов с ростом минерализации. Изучение степени равновесия подземных вод показало, что все рассматриваемые воды достигают насыщения монтмориллонитами, а часть вод – кальцитом. Не смотря на высокое содержание в водах сульфат-иона, насыщения сульфатными минералами не наблюдается. Эти результаты позволили в пределах Приташкентского артезианского бассейна выделить два геохимических типа вод: кремнисто-кальциевый (магниевого) и кремнистый карбонатно-кальциевый, отличающихся величиной pH и содержанием основных ионов.

Ключевые слова:

Подземные воды, химический состав, водоносный горизонт, равновесие, геохимия.

Введение

Ташкентская область – крупнейший индустриальный регион Республики Узбекистан, на долю которого приходится почти вся республиканская продукция черной и цветной металлургии (за исключением золота), строительной промышленности, здесь производится основная добыча угля, развита электроэнергетика и сельское хозяйство. Водные ресурсы играют значительную роль в экономическом развитии региона, так, например, подземные воды Приташкентского артезианского бассейна используются для питьевого водоснабжения городского и сельского населения, производственно-технических нужд и орошения земель. В этой связи, актуальными являются вопросы исследования особенностей формирования химического состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна.

Определяющим процессом в формировании природных вод разнообразного состава и солености согласно современным представлениям является взаимодействие воды с горными породами [1]. Различные аспекты этого процесса исследуются учеными всего мира [2]. При всем многообразии взглядов на обозначенную проблему особо заслуживающим внимание являются представления об

эволюционном характере взаимодействия вод с горными породами, согласно которым «вода такова, какова степень ее взаимодействия с горными породами, определяемая историей геологической эволюции этой системы» [1, 3, 4]. Таким образом, на каждой стадии взаимодействия в системе вода–порода формируется строго определенный состав вод.

Целью работы является исследование процессов формирования химического состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна с позиций эволюционного развития системы вода–порода.

Характеристика объекта и методы исследований

Ташкентская область расположена в северо-восточной части Республики Узбекистан, что показано на рис. 1. В геоморфологическом отношении район располагается на стыке горно-предгорных и равнинных территорий, обусловивших значительное разнообразие климатических условий. Рассматриваемая территория располагается в резко континентальном поясе. Среднегодовая температура составляет 14,8 °С. Количество ежегодно выпадающих осадков составляет от 300 до 800 мм в различных частях исследуемого района.



Рис. 1. Обзорная карта района исследований

Основной водной артерией района являются р. Чирчик и Ахангаран, крупные правобережные притоки р. Сырдарья, формирующиеся в условиях высокогорья за счет снегов и родникового питания.

В основу данной работы положены материалы гидрогеохимических исследований 8-ми водоносных горизонтов, получившие широкое распространение в пределах исследуемой территории. Массив гидрогеохимической информации включает данные по макрокомпонентному составу подземных вод, вскрытых 69-ю скважинами, находящимися в Ташкентской области вдоль долин рек Чирчик и Ахангаран как в равнинных частях долин рек, так и в предгорных районах. Анализ химического состава подземных вод выполнялся в лаборатории Государственного Предприятия «Институт ГИДРОИНГЕО» г. Ташкента. Общее количество точек наблюдения 144.

Для определения стадии взаимодействия подземных вод Ташкентской области была проведена оценка степени насыщенности вод к вторичным минеральным продуктам: гиббситу, каолиниту, монтмориллонитам, гидрослюда, кальциту, доломиту, магнезиту и гипсу. В основу изучения геохимических процессов в системе вода–порода положены методы равновесной термодинамики и анализ элементарных реакций, начальными продуктами которых являются основные порообразующие минералы и вода, конечными – вторичные ми-

нералы, а также ионы и нейтральные молекулы, которые перешли в жидкую фазу. В данной работе использовались реакции, приведенные в табл. 1.

Степень насыщенности вод относительно вторичных минералов оценивалась посредством индекса неравновесности, или, по терминологии В.П. Зверева, показателем A , который определяется по формуле (1) [5]:

$$A = \lg \frac{K}{Q}, \quad (1)$$

где K – константа реакции, Q – квотант реакции.

По мере насыщения вод относительно какого-либо минерала индекс неравновесности уменьшается, стремясь к нулю, при пересыщении вод его значения становятся отрицательными; нулевое значение характеризует равновесное состояние [5].

Способность компонентов водного раствора вступать в химическое взаимодействие, характеризующаяся активностью иона, вычислена согласно формуле (2) [6]:

$$a_{\text{иона}} = [\text{ион}] = \gamma_{\text{и}} \cdot m, \quad (2)$$

где $\gamma_{\text{и}}$ – коэффициент активности; m – молярность иона, г-моль/л.

Коэффициент активности рассчитан по уравнению Дебая–Хюккеля (3), используемому для низкоминерализованных растворов [6].

$$-\lg \gamma = (A \cdot z_i^2 \cdot \sqrt{I}) / (1 + a_i \cdot B \cdot \sqrt{I}), \quad (3)$$

Таблица 1. Уравнения взаимодействия вод с алюмосиликатными и карбонатными минералами и их основные термодинамические параметры

Реакция	lgKp [6]	Уравнение квотанта реакции
$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 5\text{H}_2\text{O} = 2\text{Al}(\text{OH})_3 + 2\text{H}_4\text{SiO}_4^0$	-8,44	$[\text{H}_4\text{SiO}_4^0]^2$
$6\text{Ca}_{0,17}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 23\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 8\text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{Ca}^{2+}$	-18,35	$([\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{H}_4\text{SiO}_4^0]^8) / [\text{H}^+]^2$
$6\text{Mg}_{0,17}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ + 23\text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 8\text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{Ca}^{2+}$	-18,3	$([\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{H}_4\text{SiO}_4^0]^8) / [\text{H}^+]^2$
$3\text{K}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + \text{H}^+ + 11,5\text{H}_2\text{O} = 3,5\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{K}^+$	-8,9	$([\text{K}^+] \cdot [\text{H}_4\text{SiO}_4^0]^4) / [\text{H}^+]$
$3\text{Na}_{0,33}\text{Al}_{2,33}\text{Si}_{3,67}\text{O}_{10}(\text{OH})_2 + \text{H}^+ + 11,5\text{H}_2\text{O} = 3,5\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 4\text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{Na}^+$	-8,4	$([\text{Na}^+] \cdot [\text{H}_4\text{SiO}_4^0]^4) / [\text{H}^+]$
$\text{CaCO}_3 = \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	-8,34	$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 2\text{CO}_3^{2-}$	-17,09	$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]^2$
$\text{MgCO}_3 = \text{Mg}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$	-7,46	$[\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$
$\text{CaSO}_4 = \text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$	-4,36	$[\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{CO}_3^{2-}]$

где A и B – характеристические константы растворителя, зависящие от температуры и диэлектрической проницаемости воды; $\hat{a}i$ – множитель, зависящий от эффективного диаметра данного иона в растворе, преимущественно определяется экспериментальным путем [6]; z_i – заряд иона.

I – ионная сила вычисляемая по уравнению (4):

$$I = 0,5 \sum m_i z_i^2. \quad (4)$$

Для визуализации результатов расчета использованы диаграммы полей устойчивости алюмосиликатных и карбонатных минералов.

Для расчета активности химических элементов в соленых водах использован программный продукт HydroGeo, разработанный в Томском политехническом университете.

Результаты исследований и их обсуждение

В гидрогеологическом отношении территория Ташкентской области представлена двумя структурами: Чаткало-Кураминской группой бассейнов трещинных вод на востоке, северо-востоке и При-ташкентским артезианским бассейном на юге, к которому в основном приурочены все рассматриваемые воды. В пределах исследуемой территории наиболее широкое распространение получили восемь водоносных горизонтов, которые используются для водоснабжения населенных пунктов Ташкентской области.

Водоносный горизонт верхнечетвертичных современных аллювиальных, аллювиально-пролювиальных отложений а-ар Q_{III-IV} развит в аллювиальных отложениях поймы рек Чирчик, Ахангаран, Дукента, Коксу и др. Ширина распространения водоносного горизонта от 1 до 2 м. Мощность изменяется от 8,0 до 10–15 м. Глубина залегания уровня подземных вод составляет 3,85–6,85 м. Коэффициент фильтрации водоносного горизонта в районе г. Ангрена от 10 до 43,2 м/сут., а в районе ручья Дукент 108,7–109 м/сут. В пределах приречной зоны наблюдаются самые высокие фильтрационные свойства водоносного горизонта, достигающие 200 м/сут. [7, 8].

По химическому составу воды преимущественно гидрокарбонатно-сульфатные кальциевые, однако в трёх скважинах наблюдается увеличение доли сульфат-иона, и воды становятся сульфатными. Это отмечается лишь в скважинах, расположенных вблизи золотоизвлекательной фабрики. Воды пресные с минерализацией менее 500 мг/л, от слабокислых до нейтральных, реже слабощелочные. В основном содержание нитратов в водах горизонта не превышает 8 мг/л. Лишь в сельскохозяйственной орошаемой зоне в условиях близ поверхностного залегания водоносного горизонта в одной скважине встречены воды с очень высоким содержанием нитратов – 86 мг/л. Содержание кремния в среднем составляет 9,3 мг/л.

Водоносный горизонт верхнечетвертичных современных пролювиальных отложений р Q_{III-IV} сложен аллювиальными отложениями надпойменных

террас. Коэффициент фильтрации 10–40 м/сут. [9, 10]. Горизонт представлен гидрокарбонатно-сульфатным магниевым-кальциевым типом вод. Минерализация вод в среднем составляет 541 мг/л, однако в некоторых точках наблюдается увеличение минерализации до 2000 мг/л. Содержание нитратов составляет в среднем 5,4 мг/л. Воды горизонта нейтральные, либо слабощелочные. Содержание кремния в среднем 9,3 мг/л.

Водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений ар Q_{III} приурочен к галечникам с песчано-гравийным заполнителем в нижней части горизонта. Наиболее проницаемыми являются аллювиальные галечники с коэффициентом фильтрации 30 м/сут. Ниже описываемого горизонта залегают галечники на песчано-глинистом цементе, и он является практически водоупором. Для последнего коэффициент фильтрации составляет 1,4–4,8 м/сут. [11]. Воды горизонта гидрокарбонатно-сульфатные натриевые, реже кальциевые. Минерализация в среднем составляет 964 мг/л, однако имеются точки с повышенными значениями более 1000 мг/л. Среда щелочная и слабощелочная. Содержание нитратов не превышает 8 мг/л.

Водоносный горизонт средне-верхнечетвертичных пролювиальных отложений р Q_{II-III} приурочен к галечникам с песчано-гравийным заполнителем. Ширина полосы его развития достигает 6–7 км. Водовмещающими породами верхнечетвертичного возраста являются лессы с маломощными прослоями грубообломочных коренных пород, крупно мелкозернистых песков, гравия, суглинков и супесей. Водовмещающими породами среднечетвертичного возраста являются суглинки с включением гравия, мелкой гальки, полимиктовые разнотельные пески, супеси, мелкий галечник с включением гравия с песчаным заполнителем. Коэффициент фильтрации составляет от 45,8 до 86,4 м/сут. Глубина залегания уровня грунтовых вод водоносного горизонта изменяется в пределах 8–30 м с амплитудой колебания 2,18–2,43 м [12]. Воды данного водоносного горизонта гидрокарбонатно-сульфатные магниевые, либо сульфатно-гидрокарбонатные. Среднее значение минерализации 750 мг/л. Воды щелочные. Содержание кремния в среднем 9,3 мг/л, а нитратов не превышает 8 мг/л.

Водоносный горизонт среднечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений ар Q_{II} имеет наиболее широкое распространение, занимает до 80 % площади. Водовмещающими породами являются лессовидные породы с включениями и линзами грубообломочных пород (вблизи подножья Кураминских гор), мощность их довольно постоянна, 80–100 м. На большей части площади водоносный комплекс представлен напорными водами. Пьезометрические уровни располагаются на глубине от 1,0–5,0 до 10–14,0 м, на водоразделах глубина увеличивается до 22 м. В пониженных частях рельефа пьезометрические уровни располагаются

выше поверхности земли +0,44 м. Расход воды в пределах 1,7–10,0 л/с при понижениях уровня от 4,7 до 14,6 м. При опробовании в суглинках (до 30 м) расход воды от 0,03 до 0,06 л/с, а линз песка, мелкого гравия, залегающих среди мелкоземистых пород, от 0,7 до 2,0 л/с, при понижениях соответственно от 3,0 до 17,0 м и от 1,5 до 3,0–5,0 м [13].

Водоносный горизонт представлен сульфатно-гидрокарбонатным натриевым типом вод. Среднее значение минерализации 988 мг/л, однако иногда повышается до 5000 мг/л. Воды околонеутральные. Содержание кремния в среднем 10,2 мг/л. Содержание нитратов до 24 мг/л.

Водоносный горизонт ниже-среднечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений арQ_{II-II} представлен в основном галечниками с глинистым заполнителем, а питание его осуществляется за счет атмосферных осадков и притока подземных вод со стороны горного обрамления, в осевой части долины – перетекания из вышележащих горизонтов. В целом водоносный горизонт характеризуется слабой обводненностью и практически является для вышележащих водоносных горизонтов водоупором. Коэффициент фильтрации не превышает 1,2 м/сут. [14].

Представлен гидрокарбонатно-сульфатным натриевым типом вод. Значения минерализации не превышают 880 мг/л. Среда слабощелочная. Среднее содержание нитратов 16 мг/л, но наблюдается и повышенное до 47 мг/л. Содержание кремния в среднем 9,3 мг/л.

Водоносный горизонт нижнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений арQ_I

вскрыт на глубине 78–165 м, на юге массива на глубине 200–249 м и представлен веерномелкоземистой зоной с хорошо промытым аллювием (галечник с гравийно-песчаным заполнителем). В центральной части представлен веерносмешанной зоной с хорошо различимыми толщами плотных суглинков и алевролитистых глин с прослоями, линзами веернорусловых гравийников и мелких галечников на супесчано-суглинистом заполнителе. Мощность водоносного горизонта от 60 до 100 м, наибольшая мощность, 197 м, вскрыта на глубине 88–285 м в пос. Катта Равот [15].

Водообильность водоносного горизонта довольно высокая, от 2,0–6,0 до 44,0–64,1 л/с, при понижениях от 1 до 11 м. Коэффициент фильтрации от 12 до 29 м/сут. Пьезометрические уровни по скважинам установлены в зависимости от гипсометрических отметок поверхности земли на глубинах от 1,0 до 52,0 м.

Горизонт представлен гидрокарбонатно-сульфатными кальциевыми водами. Воды околонеутральные с минерализацией до 500 мг/л. Среднее содержание кремния 9,3 мг/л. Содержание нитратов не превышает 6 мг/л.

Водоносный комплекс нижнечетвертичных-верхнеплейстоценовых отложений представлен в основном галечником с глинистым заполнителем, песчаниками и конгломератом. Коэффициент фильтрации до 1,5 м/сут. [16, 17]. Горизонт представлен водами гидрокарбонатно-сульфатными натриевыми. Среднее величина минерализации составляет 542 мг/л, однако в отдельных точках минерализация возрастает до 2000 мг/л. Максимальное содержание нитратов составляет 24 мг/л. Среда

Таблица 2. Химический состав подземных вод Приташкентского артезианского бассейна, мг/л

Показатели	Водоносные горизонты								Среднее
	a-ар Q _{IV-III}	pQ _{III-IV}	арQ _{III}	pQ _{II-III}	арQ _{II}	арQ _{I-II}	арQ _I	Q _{I-N₃}	
pH	<u>4,8...8,2</u> 7,3	<u>6,9...8,2</u> 7,4	<u>7,2...13</u> 6	<u>7,4...11</u> 8,3	<u>6,7...8,4</u> 7,5	<u>7,5...9</u> 8,2	<u>6,7...8,4</u> 7,4	<u>6,8...7,8</u> 7,3	7,5
Ca ²⁺	<u>8...70</u> 37	<u>16...98</u> 37	<u>28...225</u> 93	<u>12...164</u> 53	<u>6...281</u> 65	<u>20...34</u> 25	<u>10...86</u> 37	<u>20...116</u> 46	44
Mg ²⁺	<u>2...34</u> 12	<u>15...79</u> 42	<u>8...80</u> 51	<u>16...157</u> 75	<u>1...365</u> 51	<u>18...83</u> 41	<u>5...55</u> 22	<u>12...170</u> 43	38
Na ⁺	<u>4...53</u> 23	<u>32...758</u> 273	<u>0,4...524</u> 219	<u>15...217</u> 82	<u>117...946</u> 177	<u>167...188</u> 115	<u>13...114</u> 158	<u>17...300</u> 59	101
K ⁺	<u>0,7...5</u> 1,8	<u>4...9</u> 5,4	<u>0,1...13</u> 7	<u>2...22</u> 6,6	<u>1...40</u> 7	<u>1...44</u> 13	<u>1...8</u> 4,3	<u>2...75</u> 11	6
HCO ₃ ⁻	<u>37...315</u> 152	<u>156...427</u> 257	<u>218...439</u> 312	<u>24...537</u> 302	<u>43...305</u> 155	<u>159...473</u> 266	<u>34...336</u> 158	<u>55...305</u> 204	203
Cl ⁻	<u>7...46</u> 14	<u>14...159</u> 74	<u>5...408</u> 167	<u>11...268</u> 65	<u>11...301</u> 72	<u>16...190</u> 76	<u>9...57</u> 28	<u>7...213</u> 41	51
SO ₄ ²⁻	<u>16...140</u> 63	<u>75...1465</u> 522	<u>16...653</u> 303	<u>13...834</u> 292	<u>26...3885</u> 510	<u>12...243</u> 115	<u>5...319</u> 139	<u>16...1411</u> 210	245
NO ₃	<u>1...86</u> 8,5	<u>2...30</u> 12,7	<u>4...6</u> 4,6	<u>1...8</u> 3,75	<u>1...24</u> 7,5	<u>2...47</u> 16	<u>2...6</u> 4	<u>1...24</u> 5,4	8
Si	<u>7...10,7</u> 9,3	<u>9,14...10,7</u> 9,3	<u>9,8...10,7</u> 10,2	<u>7,9...10,2</u> 9,3	<u>7,9...11,6</u> 10,2	<u>9,8...10,2</u> 9,3	<u>7,9...11,6</u> 10,2	<u>6,9...12,1</u> 9,3	9,8
Сухой остаток	<u>80...412</u> 247	<u>384...2170</u> 1144	<u>14...1910</u> 64	<u>244...1250</u> 750	<u>13...5680</u> 988	<u>370...880</u> 567	<u>6...580</u> 322	<u>190...2410</u> 542	606
Число анализов	36	14	12	16	20	10	18	18	144

Примечание: числитель: слева – минимальное значение, справа – максимальное значение; знаменатель: среднее значение.

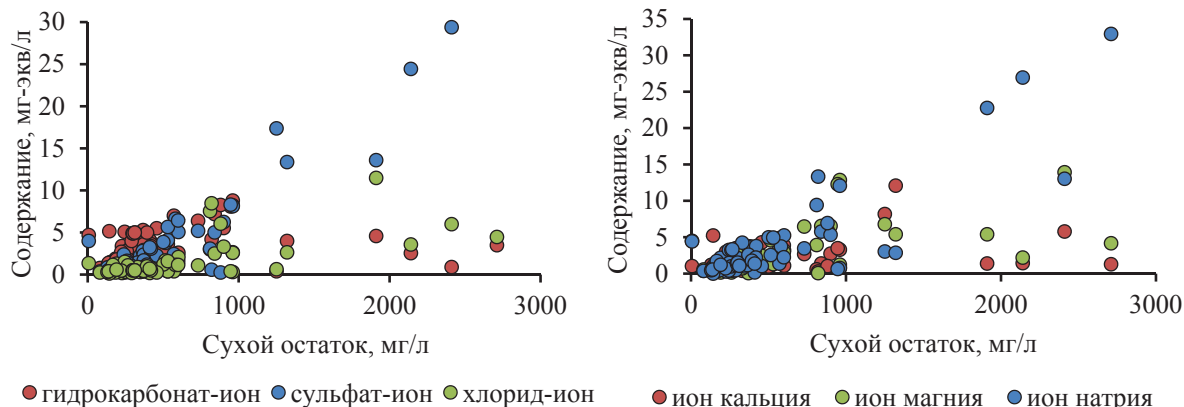


Рис. 2. Зависимость ионного состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна от степени и минерализации

околонейтральная, либо слабощелочная. Содержание кремния составляет в среднем 10,2 мг/л.

Согласно анализу закономерностей на рис. 2 поведения ионов в зависимости от степени минерализации, пресные воды с минерализацией до 1000 мг/л преимущественно гидрокарбонатные с высокой долей сульфат-иона. В более соленых водах возрастает доля сульфат-иона, и он становится ведущим анионом, при этом значительно снижается доля гидрокарбонат-иона. Накопление хлорид-иона в пресных водах не столь интенсивное, как у первых двух ионов, однако при более высокой минерализации, более 1000 мг/л, отмечается значительное увеличение его доли в анионном составе.

В пресных подземных водах Приташкентского артезианского бассейна в катионном составе доминируют кальций и натрий, в меньшей степени магний. При достижении вод минерализации 1000 мг/л и более отмечается явное преобладание в составе вод иона натрия.

В целом химический состав рассматриваемых подземных вод согласуется с приведенными ранее сведениями о водах этого региона [18, 19]. Исключение составляют хлорид-ион, сульфат-ион, концентрация которых в подземных водах Приташкентского артезианского бассейна значительно выше, что определяется интенсивным поступлением этих элементов в воды верхних водоносных горизонтов из-за активного антропогенного воздействия. Увеличение в составе вод этих ионов не мо-

жет быть связано с процессами испарительного концентрирования, о чем свидетельствует поведение элементов на рис. 3, а.

Поступление этих ионов в подземные воды происходит из разных источников и с разной интенсивностью. Согласно анализу рис. 3, б в качестве источника сульфат-иона в подземных водах Приташкентского артезианского бассейна нельзя рассматривать процессы растворения гипса, что часто наблюдается в подобных условиях [18, 19]. Вероятно, сульфат-ион поступает за счет процесса окисления сульфидов.

Равновесно-неравновесная система вода-порода

Для обоснования особенностей формирования химического состава подземных вод Приташкентского артезианского бассейна проведен анализ стадии взаимодействия вод с породообразующими минералами.

Равновесие вод с алюмосиликатными минералами показано на рис. 4.

Анализ диаграмм на рис. 4 показывает, что все подземные воды Приташкентского артезианского бассейна располагаются в полях устойчивости глинистых минералов. При этом последовательный анализ величин индекса неравновесности, рассчитанных по реакциям, приведенным в табл. 1, позволил установить, что все рассматриваемые воды проходят стадии насыщения гиббситом, каолинином, Са-монтмориллонитом, Mg-монтмориллони-

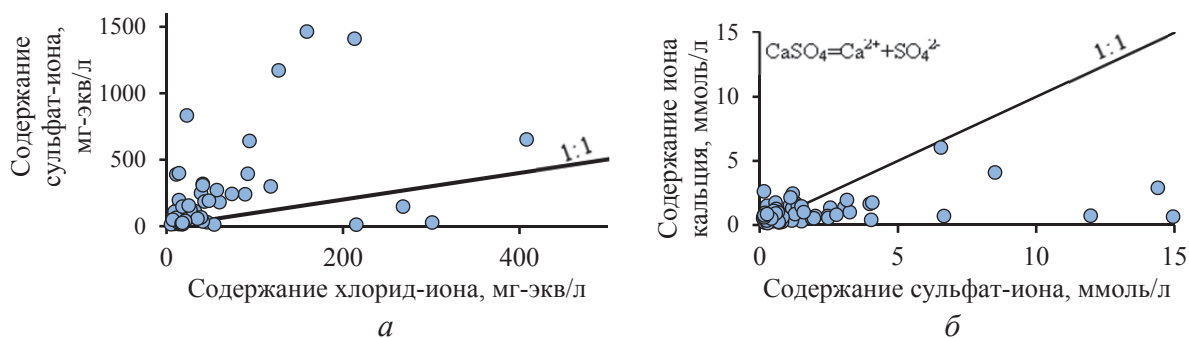


Рис. 3. Соотношение между: а) сульфат-ионом и хлорид-ионом; б) ионом кальция и сульфат-ионом

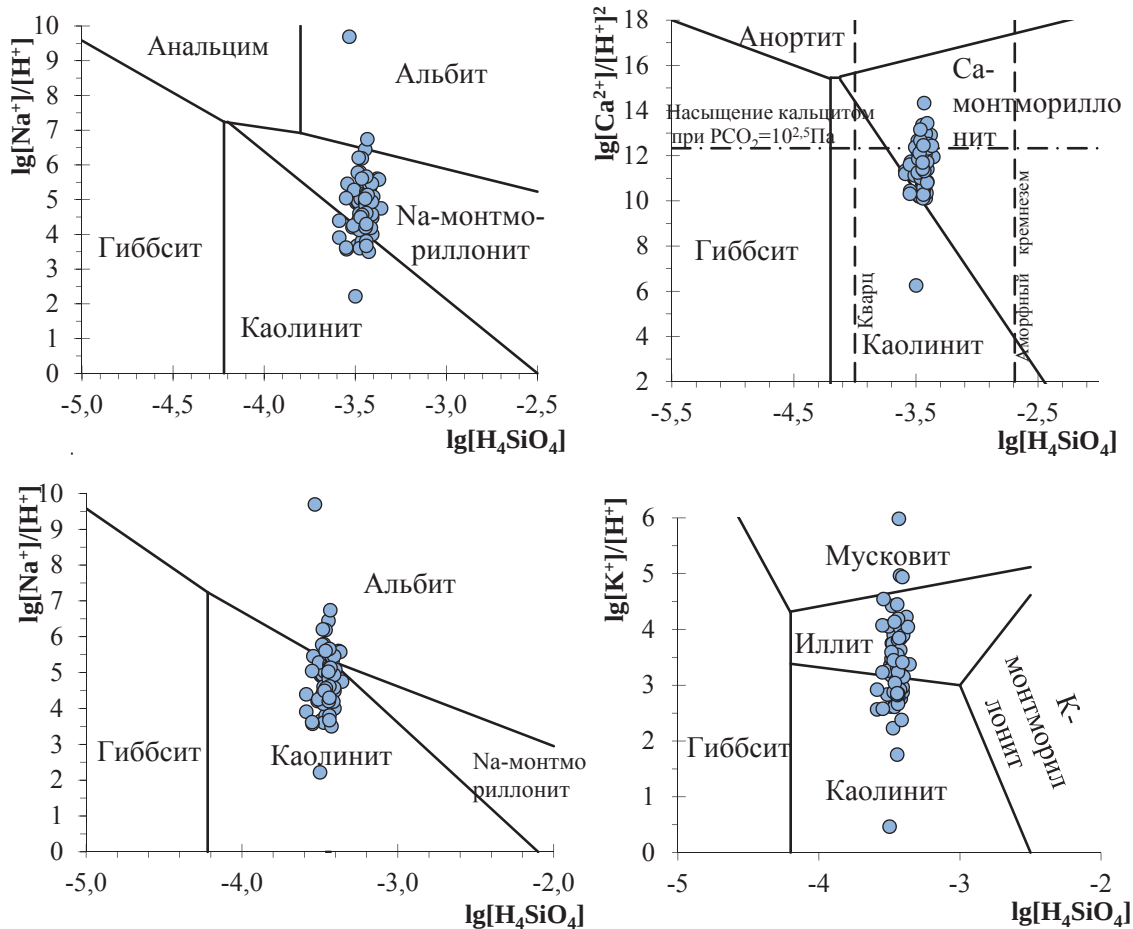


Рис. 4. Диаграммы равновесия подземных вод Приташкентского артезианского бассейна с алюмосиликатными минералами

том. На стадии насыщения Na-монтмориллонитом находятся подземные воды лишь в 18 точках из 69. Стадии насыщения K-монтмориллонитом достигли подземные воды лишь в 3 точках, приуроченных преимущественно к нижним водоносным горизонтам.

Согласно анализу рис. 5 с ростом pH подземных вод наблюдается уменьшение величины индекса неравновесности, а следовательно, увеличение степени насыщенности подземных вод Са-монтмориллонитом.

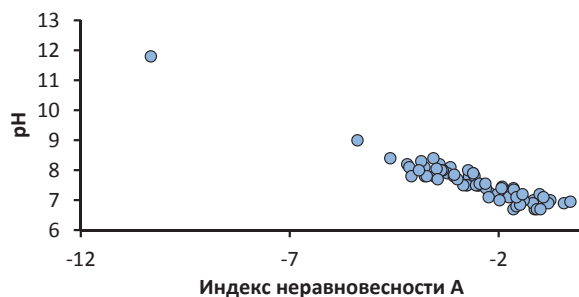


Рис. 5. График зависимости pH от индекса неравновесности для Са-монтмориллонита

Изучение равновесия подземных вод Приташкентского артезианского бассейна с карбонатными минералами, представленного на рис. 6, показало,

что примерно 30 % рассматриваемых вод находится в равновесии с карбонатом кальция.

Однако величины индексов неравновесности не велики, преимущественно десятые доли, что свидетельствует об околоравновесном состоянии подземных вод.

Согласно анализу рис. 6 в подавляющем большинстве наблюдается неравновесность систем вода-доломит и вода-магнезит. В состоянии насыщения указанными минералами находятся подземные воды нижних водоносных горизонтов Q_{II} и Q_I лишь в нескольких точках.

Из рис. 7, на котором показано равновесие подземных вод с ангидритом, видно, что рассматриваемые подземные воды даже с очень высоким содержанием сульфат-иона (до 3,8 г/л) не достигают равновесия с этим минералом.

Согласно анализу равновесия вод с вторичными алюмосиликатными и карбонатными минералами, среди подземных вод Ташкентской области большая часть вод находится на стадии насыщения Са- и Mg-монтмориллонитом, также отмечаются воды, насыщенные карбонатом кальция. Полученные результаты позволяют в пределах исследуемой территории выделить два геохимических типа вод: кремнисто-кальциевый (магниевый) и кремнистый карбонатно-кальциевый [3].

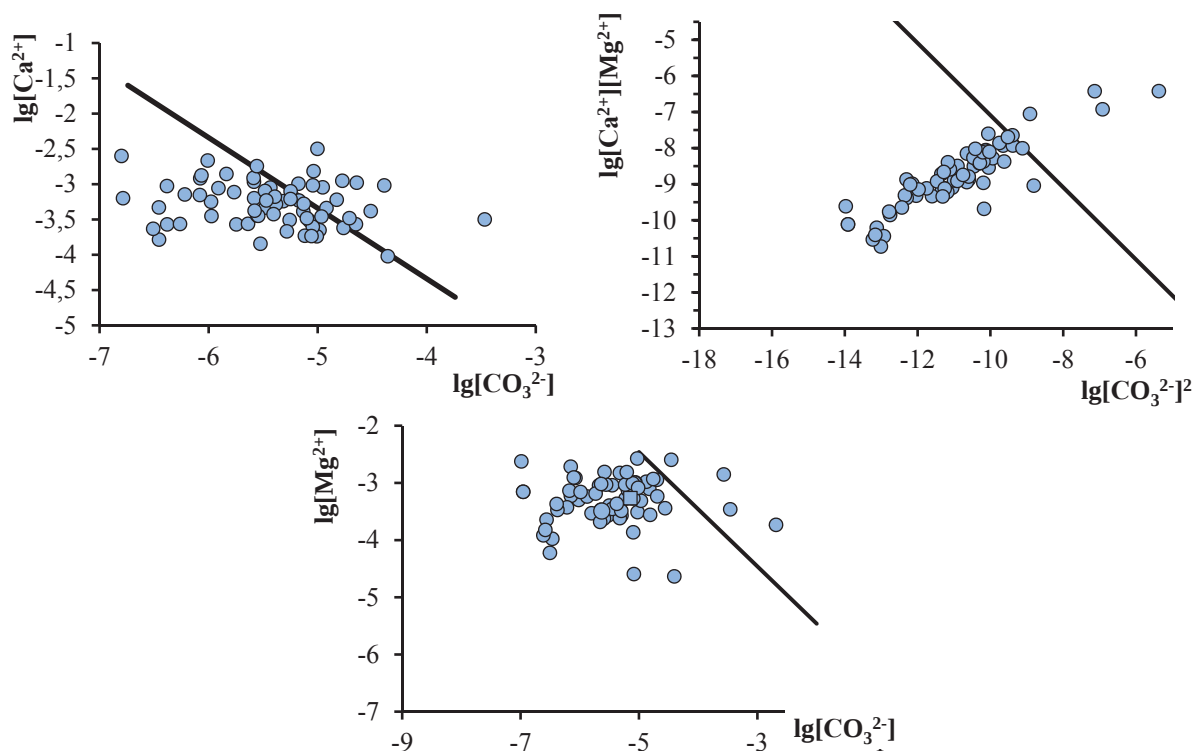


Рис. 6. Диаграммы равновесия подземных вод Приташкентского артезианского бассейна с карбонатными минералами

Таблица 3. Химический состав геохимических типов подземных вод Приташкентского артезианского бассейна

Тип вод	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Si	Сухой остаток	Число проб
Кремнисто-кальциевый (магниевый)	7,2	43,9	39,5	5,6	109	196	275	49,6	9,6	644	49
Кремнистый карбонатно-кальциевый	8,2	46,4	35,4	7,13	88,5	312	192	56,1	10,15	535	22

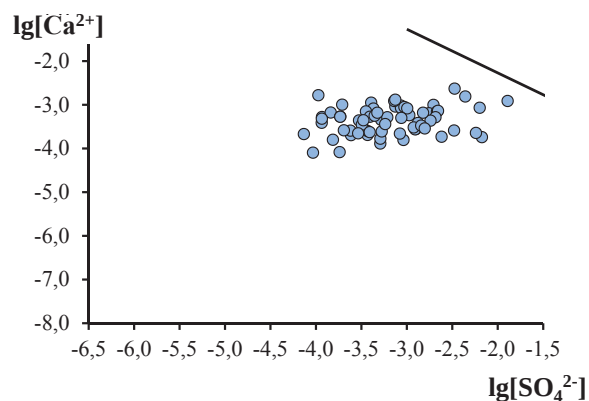


Рис. 7. Равновесие подземных вод Приташкентского артезианского бассейна с ангидритом

Характеристика выделенных геохимических типов вод приведена в табл. 3.

Выделенные геохимические типы вод различаются по основным показателям химического состава. Кремнистые карбонатно-кальциевые воды слабощелочные, характеризуются большим содержанием основных ионов и кремния. Исключением является сульфат-ион, концентрация которого в кремнисто-кальциевом типе выше, однако это является отражением не столько природных процессов, сколько последствием антропогенного воздей-

ствия. Вследствие этого, величина общей минерализации вод кремнисто-кальциевого типа несколько выше, чем кремнистого карбонатно-кальциевого, что не совсем согласуется с установленными закономерностями [3].

Выводы

Исследуемый район представляет собой сложную гидрогеологическую структуру с большим количеством водоносных горизонтов. Все водоносные горизонты приравнены пресными гидрокарбонатными водами, что связано с их местоположением в предгорных и горных частях Кураминских и Чаткальских гор, характеризующихся интенсивным водообменом. В отдельных точках равнинных участков встречаются воды сульфатного состава с минерализацией до 5680 мг/л.

Рост химических элементов в составе рассматриваемых подземных вод при увеличении их минерализации неравномерный. В подземных водах с минерализацией до 1000 мг/л преобладающими среди анионов являются гидрокарбонат-ион и сульфат-ион, а среди катионов – ион кальция и натрия. Иная ситуация складывается в водах с более высокой минерализацией (более 1000 мг/л), здесь преобладающую роль играют сульфат-ион и натрий.

Изучение степени равновесия подземных вод Приташкентского артезианского бассейна показало, что все рассматриваемые воды достигают насыщения монтмориллонитами, а часть вод – кальцитом. Несмотря на высокое содержание в водах сульфат-иона, насыщения сульфатными минералами не наблюдается. Эти результаты позволили в пределах Приташ-

кентского артезианского бассейна выделить два геохимических типа вод: кремнисто-кальциевый (магнийевый) и кремнистый карбонатно-кальциевый, отличающихся по pH и содержанию основных ионов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ проект № 13-05-90914 мол_снг_нр и Госадаания «Наука».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т. 1. Система вода–порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / отв. ред. С.Л. Шварцев. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. – 244 с.
2. Hellmann R., Pitsch H. *Procedia Earth and Planetary Science*. – 2013. – № 7. – 966 p.
3. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т. 2: Система вода–порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / С.Л. Шварцев и др. / отв. ред. тома Б.Н. Рыженко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.
4. Shvartsev S.L. Water as the Main Factor of Global Evolution // *Herald of the Russian Academy of Sciences*. – 2013. – V. 83. – № 1. – P. 78–85.
5. Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. – М.: Недра, 1982. – 182 с.
6. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. – М.: Мир, 1968. – 368 с.
7. Хасанов А.С., Арипов К.М. Гидрохимический и гидродинамический режим грунтовых вод Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1983. – 74 с.
8. Стельмах А.Г. Палеомагнитные исследования лессовых отложений голоцена бассейна рек Чирчик и Ахангаран // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала* – Пермь. – 2012. – № 3. – С. 123–126.
9. Pachri H., Mitani Y. Development of water management modeling by using GIS in Chirchik river basin, Uzbekistan // *International Conference on Earth Science and Technology Proceedings*. – Tashkent, 2012. – pp. 169–176.
10. Результаты экологогидрогеологических и инженерно-геологических исследований и картографирования в масштабе 1:25000 территории Ангренской промзоны и г. Ангрена в его перспективных границах (отчет Ангренской геоэкологической партии) / А. Нурадилов и др. // Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО». – Ташкент: ГП «НИИМР», 2006. – 201 с.
11. The formation of loess deposits in the Tashkent region and perts of Central Asia; and problems with irrigation, hydrocollapse and soil corrosion / I.J. Smalley, N.G. Mavlyanova, Kh.L. Rakmatullaev, M.Sh. Shermatov, B. Macholett, K. O'Hara Dhand, I.F. Jefferson // *Quaternary International*. – 2006. – V. 152–153. – P. 59–69.
12. Переоценка региональных эксплуатационных запасов подземных вод месторождений Приташкентского района в связи с усилением техногенного воздействия на подземные воды и изменением их качества / Г. Мжельская и др. // Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО». – Ташкент: ГП «НИИМР», 2000. – 154 с.
13. Утабаев Н., Умаров Ш.Ф. Ведение Государственного мониторинга подземных вод и контроля за их рациональным использованием в пределах Ахангаранского бассейна и Дальверзинской степи на территории Ташкентской области // Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО». – Ташкент: ГП «НИИМР», 2004. – 189 с.
14. Утабаев Н., Гергель Н. Ведение Государственного мониторинга подземных вод в пределах Ахангаранского бассейна и Дальверзинской степи на территории Ташкентской области // Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» – Ташкент: ГП «НИИМР», 2007. – 175 с.
15. Мирзаев С.Ш. Запасы подземных вод Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1974. – 63 с.
16. Отакулова Ю.А. Техногенные факторы, влияющие на гидрогеохимический режим территории Ахангаранской долины // *Современные методы и технологии в решении гидрогеохимических, инженерно-геологических и геоэкологических задач: Труды Республ. научно-техн. конф.* – Ташкент: ГП НИИМР, 2013. – С. 216–219.
17. Утабаев Н. Ведение государственного мониторинга подземных вод в пределах Ахангаранского бассейна Приташкентской области // Фонды ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» – Ташкент: ГП «НИИМР», 2012. – 123 с.
18. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
19. Shvartsev S.L. Geochemistry of Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth // *Geochemistry International*. – 2008. – V. 46. – № 13. – P. 1285–1398.

Поступила 29.11.2013 г.

GEOCHEMISTRY OF GROUNDWATER IN TASHKENT ARTESIAN BASIN (REPUBLIC OF UZBEKISTAN)

Natalya V. Guseva,

Cand. Sc., Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue,
Tomsk, 634050, Russia. E-mail: guseva24@yandex.ru

Yuliya A. Otakulova,

O.K. Lange Institute of Hydro geology and Engineering Geology, 64, Olimlar
Street, Tashkent, 100041, Uzbekistan. E-mail: yuliya_otakulova@mail.ru

Water resources play a significant role in the economic development of Tashkent oblast (Republic of Uzbekistan), groundwater is used for drinking water supply in urban and rural population, production and technical needs and irrigation. In this regard, the research of features of groundwater chemical composition formation in Tashkent artesian basin is of great importance for forecasting the changes in its quality.

The main aim of the study: to investigate the features of groundwater chemical composition formation in Tashkent artesian basin according to the analysis of water–rock interaction evolution.

The methods used in the study: Methods of equilibrium thermodynamics were used for comprehensive study of the groundwater–rock equilibrium conditions. Traditional methods were used to determine the groundwater chemical composition.

The results: The authors have studied the features of groundwater chemical composition in Tashkent artesian basin and have determined the regularities in behavior of the basic ions at mineralization increase. The investigation of groundwater equilibrium showed that all examined waters achieve montmorillonite saturation and some waters are saturated with calcite. Despite the high sulfate content in waters the saturation with sulfate minerals is not observed. These results allowed the authors to distinguish two geochemical water types such as siliceous-calcium (magnesium) and calcium carbonate-siliceous, differ in pH and basic ions content.

Key words:

Underground water, chemical composition, aquifer, equilibrium, geochemistry.

REFERENCES

1. *Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda–poroda. Sistema voda–poroda v zemnoy kore: vzaimodeystvie, kinetika, ravnovesie, modelirovanie* [Geological evolution and self-organization of the water–rock system. Water–rock system in the earth crust: interaction, kinetics, equilibrium, modeling]. Ed. S.L. Shvartsev. Novosibirsk, INGG SO RAN Publ., 2005. Vol. 1, 244 p.
2. Hellmann R., Pitsch H. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2013, no. 7, 966 p.
3. Shvartsev S.L. *Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda–poroda. Sistema voda–poroda v zemnoy kore: vzaimodeystvie, kinetika, ravnovesie, modelirovanie* [Geological evolution and self-organization of the water–rock system. Water–rock system in the earth crust: interaction, kinetics, equilibrium, modeling]. Novosibirsk, INGG SO RAN Publ., 2007. Vol. 2, 389 p.
4. Shvartsev S.L. Water as the Main Factor of Global Evolution. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2013, vol. 83, no. 1, pp. 78–85.
5. Zverev V.P. *Rol podzemnykh vod v migratsii khimicheskikh elementov* [Role of groundwater in the migration of chemical elements]. Moscow, Nedra Publ., 1982, 182 p.
6. Garrels R.M., Krayst Ch.L. *Rastvory, mineraly, ravnovesiya* [Solutions, Minerals, Equilibrium]. Moscow, Mir Publ., 1968, 368 p.
7. Khasanov A.S., Aripov K.M. *Gidrokhimicheskiy i gidrodinamicheskiy rezhim podzemnykh vod Uzbekistana* [Hydrogeochemical and hydrodynamic groundwater regime in Uzbekistan]. Tashkent, Fan Publ., 1983, 74 p.
8. Stelmakh A.G. Paleomagnetnye issledovaniya lessovykh otlozheniy golotsena basseyna rek Chirchik i Akhangaran [Paleomagnetic study of Holocene loess of Chirchik and Akhangaran rivers basins]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala – Perm*, 2012, no. 3, pp. 123–126.
9. Pachri H., Mitani Y. Development of water management modeling by using GIS in Chirchik river basin, Uzbekistan. *International Conference on Earth Science and Technology Proceedings*. Tashkent, 2012, pp. 169–176.
10. Nuradilov A. *Rezultaty ekologidogeologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh issledovaniy i kartografirovaniya v masshtabe 1:25000 territorii Angrenskoy promzony i g. Angrena v ego perspektivnykh granitsakh (otchet Angrenskoy geokologicheskoy partii)* [Results of ecologidogeological, engineering geological and mapping research in the Angrensk industrial area and Angrena City (the report of Angrensk geological party)]. Tashkent, 2006, 201 p.
11. Smalley I.J., Mavlyanova N.G., Rakmatullaev Kh.L., Shermatov N.Sh., Macholett B., K. O'Hara Dhand, Jefferson I.F. The formation of loess deposits in the Tashkent region and parts of Central Asia; and problems with irrigation, hydrocollapse and soil corrosion. *Quaternary International*, 2006, vol. 152–153, pp. 59–69.
12. Mzhelskaya G. *Pereotsenka regionalnykh ekspluatatsionnykh zapasov podzemnykh vod mestorozhdeniy Pritashkentskogo rayona v svyazi s usileniem tekhnogennogo vozdeystviya na podzemnye vody i izmeneniy ikh kachestva* [Reassessment of regional groundwater storage fields of Tashkent area due to the increased anthropogenic impact on groundwater quality and change]. Tashkent, 2000, 154 p.
13. Utabaev N., Umarov Sh.F. *Vedenie Gosudarstvennogo monitoringa podzemnykh vod i kontrolya za ikh ratsionalnym ispolzovaniem v predelakh Akhangaranskogo basseyna i Dalverzinskoy stepi na territorii Tashkentskoy oblasti* [State monitoring of groundwaters and control over their rational use within Akhangaran basin and Dalverzin steppes in the surrounding regions]. Tashkent, 2004, 189 p.
14. Utabaev N., Gergel N. *Vedenie Gosudarstvennogo monitoringa podzemnykh vod v predelakh Akhangaranskogo basseyna i Dalverzinskoy stepi na territorii Tashkentskoy oblasti g. Tashkent* [State monitoring of groundwaters and control over their rational use within Akhangaran basin and Dalverzin steppes in the surrounding regions]. Tashkent, 2007, 175 p.

15. Mirzaev S.Sh. *Zapasy podzemnykh vod Uzbekistana* [Groundwater reserves in Uzbekistan]. Tashkent, Fan Publ., 1974. 63 p.
16. Otakulova Yu.A. Tekhnogennye faktory, vliyayushchie na gidrogeokhimicheskiy rezhim territorii Akhangaranskoy doliny [Tectonic factors, influencing hydrogeochemical regime in the Akhangaran valley territory]. *Trudy Respublikanskoy konferentsii «Sovremennye metody i tekhnologii v reshenii gidrogeokhimicheskikh, inzhenerno-geologicheskikh i geoekologicheskikh zadach»* [Proc. Resp. Conf. Modern methods and technology to solve the hydrogeochemical, geological-engineering and geoecological problems]. Tashkent, 2013, pp. 216–219.
17. Utabaev N. *Vedenie gosudarstvennogo monitoringa podzemnykh vod v predelakh Akhangaranskogo basseyna Pritashkentskoy oblasti* [State monitoring of groundwaters within the Akhangaran basin of Tashkent region]. Tashkent, 2012. 123 p.
18. Shvartsev S.L. *Gidrogeokhimiya zony gipergeneza* [Hydro geochemistry of hypergenesis zone]. Moscow, Nedra Publ., 1998. 2^d ed., 366 p.
19. Shvartsev S.L. Geochemistry of Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth. *Geochemistry International*, 2008, vol. 46, no. 13, pp. 1285–1398.