

Оценка гидрохимического состава подземных вод и разработка новых сценариев эксплуатации для целей водоснабжения (Таджикистан)

Е. А. Вивенцова¹, А. В. Ермаков²

¹ Санкт-Петербургский государственный университет,
Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

² Геологический институт РАН,
Российская Федерация, 119017, Москва, пер. Пыжёвский, 7

Для цитирования: Вивенцова, Е. А., Ермаков, А. В. (2023). Оценка гидрохимического состава подземных вод и разработка новых сценариев эксплуатации для целей водоснабжения (Таджикистан). *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*, 68 (4), 646–655. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.402>

Основная задача исследования — разработка новых сценариев эксплуатации подземных вод для целей водоснабжения — продиктована темпами роста водопотребления. Оценка качества поверхностных и подземных вод исследуемой территории показала тенденцию к росту минерализации, жесткости и целого набора химических компонентов (вплоть до превышения предельно допустимых концентраций, ПДК). Анализ и интерпретация многолетних данных химического состава подземных вод, а также изучение интенсивности поверхностного стока в пределах исследуемой территории позволили выявить антропогенное влияние на величину ионного стока. Согласно результатам исследования, рост инфильтрационного питания (за счет расширения площадей орошения) отражается на ухудшении качества и поверхностного стока, и подземных вод. К тому же действующие водозаборы расположены в пределах городской черты, что создает дополнительную угрозу бактериального и органического загрязнения. В основу новых сценариев эксплуатации подземных вод заложены особенности гидрогеологического разреза, результаты гидрохимических исследований, величина запасов подземных вод отдельных водоносных горизонтов, расчеты зон санитарной охраны водозаборов. Для оценки запасов подземных вод использовался модуль Amwells (программного комплекса ANSDIMAT), и на основе фактического материала была создана аналитическая модель. Полагаясь на результаты этой оценки, запасы нижней части Ташкентского комплекса ($Q_{пт}$) можно считать обеспеченными и удовлетворяющими темпы водопотребления. Изучив химический состав подземных вод в пределах исследуемой территории, можно заявить, что для хозяйственно-питьевого водоснабжения также пригодны воды нижней части Ташкентского комплекса ($Q_{пт}$). Таким образом, проведена чрезвычайно востребованная детальная характеристика подземных вод, лишь часть которых пригодна для эксплуатации в качестве хозяйственно-питьевых.

Ключевые слова: загрязнение подземных вод, водоснабжение, экологическое состояние природных вод, поверхностный сток.

1. Постановка проблемы

В качестве территории исследования выступает г. Худжанд (Таджикистан) и его окрестности, где, помимо активного развития экономики, отмечен колоссальный рост водопотребления. Так, за последние 50 лет водопотребление в пределах указанной территории возросло в четыре раза, при этом экологическое состояние гидросферы испытывает постоянную нагрузку со стороны сельскохозяйственного комплекса.

Водоснабжение территории осуществляется за счет подземных вод, гидравлически связанных с водами р. Сырдарья. Действующие водозаборы являются береговыми, их дебит увязан с величиной привлекаемых ресурсов р. Сырдарья. Соответственно, качество эксплуатируемых водоносных горизонтов тесно связано с качеством поверхностных вод. В то же время наблюдается расширение площади орошаемых земель, что приводит к усилению поверхностного стока и инфильтрационного питания грунтовых вод. Из-за повышенной минерализации ирригационных вод фиксируем ухудшение качества поверхностных и подземных вод. Так, согласно результатам проведенного исследования и имеющимся архивным данным, за период с 1976 по 2020 г. произошла деградация качества и речных (р. Сырдарья), и подземных вод. В указанный период увеличились: а) минерализация речных вод до 3 г/л и подземных вод до 2 г/л; б) жесткость речных вод до 15 мг-экв/л и подземных вод до 18 мг-экв/л. К тому же ряд показателей не соответствует требованиям к качеству питьевых вод систем централизованного водоснабжения. В исследовании использовались данные действующих водозаборов (глубина эксплуатируемых скважин до 350 м) и створов в р. Сырдарье и Ходжабакиргане, архивные материалы гидрографической сети (Алямов и Содиков, 2009). Надо отметить, что архивный материал достаточно разрозненный и ощущим недостаток сведений о фильтрационно-миграционных параметрах местности, это обстоятельство также подтверждает актуальность настоящего исследования.

Учитывая особенности канализационных систем и мусоросборников в пределах территории, можно говорить о том, что существует угроза бактериального загрязнения по отношению к действующим водозаборам, расположенным в пределах городской черты.

Таким образом, необходимость в оценке, прогнозе и постоянном контроле качества природных вод района г. Худжанда, в первую очередь для целей водообеспечения, очевидна. Основная цель исследования — разработать оптимальные сценарии водообеспечения территории.

2. Методика исследования и фактический материал

В качестве исходного материала использовались данные по действующим водозаборам и архивные¹, в том числе разрозненные данные из опубликованных работ о гидрогеологических, геологических, гидрологических особенностях территории.

¹ Отчет Таджикской геолого-съемочной партии по результатам инженерно-геологических исследований за 2007 г.; Отчет Таджикской геолого-съемочной партии по результатам инженерно-геологических исследований оползне-опасных склонов за 1990 г.; Механизм посредничества Конвен-

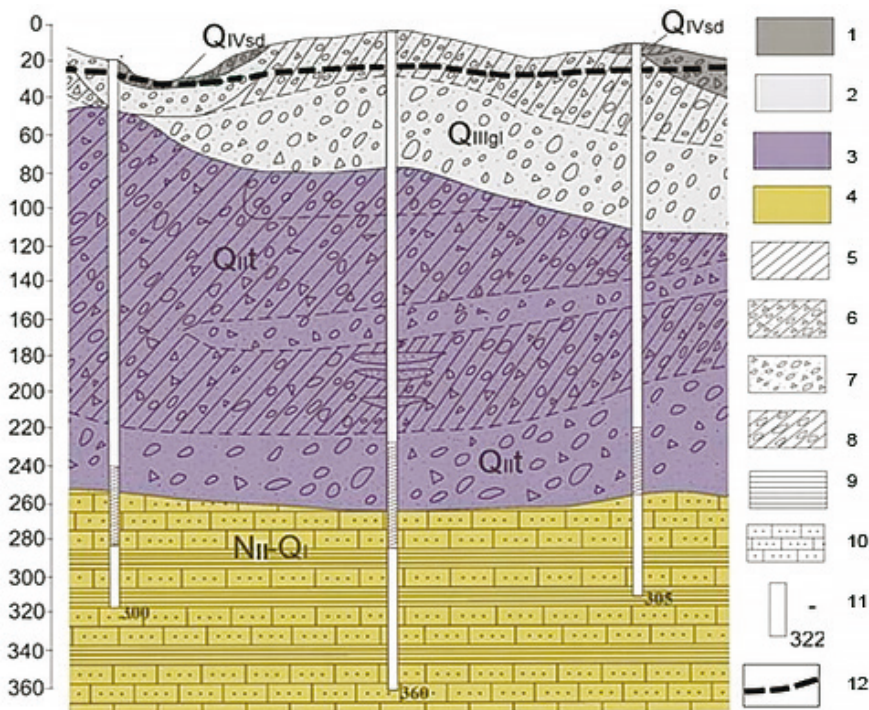


Рис. 1. Гидрогеологический разрез в пределах исследуемой территории (использованы данные из отчета Таджикской геолого-съемочной партии по результатам инженерно-геологических исследований за 2007 г.):

- 1 — водоносный горизонт aQ_{IVsd} ; 2 — водоносный горизонт apQ_{IIIgl} ; 3 — водоносный горизонт apQ_{IIg} ; 4 — водоносный горизонт $N_{II}-Q_I$; 5 — суглинистые отложения; 6 — щебнисто-галечниковые отложения с суглинистым заполнителем; 7 — щебнисто-галечниковые отложения с песчаным заполнителем; 8 — галечник с суглинистым заполнителем; 9 — алеврит с суглинистым заполнителем; 10 — песчаник; 11 — глубина скважины; 12 — положение уровня водоносного горизонта apQ_{IIg}

В геологическом строении исследуемой территории выделяется комплекс пород от палеозоя до современных четвертичных отложений. Выходы известняков палеозойского времени отмечены на правом берегу р. Сырдарьи в пределах гряды Фархатских скал и возвышенности Юмалак-Тепе.

Наиболее распространенными и обводненными следует считать четвертичные отложения (рис. 1), среди которых выделяются три стратиграфо-генетических комплекса: Ташкентский (Q_{IIg}), Голодностепский (Q_{IIIgl}) и Сырдарьинский (Q_{IVsd}). Исследование ориентировано на детальное изучение толщи именно четвертичных отложений.

Отложения *Сырдарьинского комплекса* (Q_{IVsd}) в пределах рассматриваемого района представлены аллювиальными отложениями речных долин (aQ_{IVsd}). Они слагают молодые террасы долин р. Сырдарья и Ходжабакиргана. Литологический разрез этих отложений состоит из суглинков, супесей, песков, мелкой гальки и гравия с песчаным заполнителем.

ции о биологическом разнообразии: отчет Узбекского национального координационного центра, 2008 г. Источники относятся к внутренним документам и не доступны для прочтения.

К отложениям *Голодностепского комплекса* (Q_{IIIgl}) исследуемого района относятся: аллювиальные отложения речных долин и аллювиально-пролювиальные отложения конуса выноса р. Ходжабакиргана. Аллювиальные отложения речных долин (aQ_{IIIgl}) развиты в долинах р. Сырдарьи и Ходжабакиргана и представлены галечниками разной крупности (с гравием и валунами). Аллювиально-пролювиальные отложения (apQ_{IIIgl}) представлены крупногалечным и валунно-галечным материалом с песчано-суглинистым заполнителем.

К отложениям *Ташкентского комплекса* (Q_{II}) относятся: аллювиальные отложения речных долин, аллювиально-пролювиальные отложения конуса выноса р. Ходжабакиргана. Аллювиальные отложения речных долин (aQ_{II}) представлены галечником различной крупности с валунами, гравием и песчаным заполнителем. Аллювиально-пролювиальные отложения (apQ_{II}) занимают головную часть конуса выноса и представлены грубообломочным материалом с песчаным заполнителем. В периферической части конуса выноса наблюдается переслаивание суглинков и галечников.

Отложения Ташкентского (Q_{II}) и Голодностепского комплекса (Q_{IIIgl}) наиболее развиты и имеют наибольшую мощность по сравнению с остальными отложениями четвертичной системы.

Отложения неоген-четвертичного возраста ($N_{II}-Q_I$) представлены песчаником и алевроитом.

В гидрогеологическом отношении в пределах исследуемой территории выделяются следующие водоносные горизонты и комплексы: а) Сырдарьинский водоносный горизонт (aQ_{IVsd}); б) Голодностепский водоносный горизонт (apQ_{IIIgl}); в) Ташкентский водоносный комплекс (apQ_{II}); г) водоносный комплекс, приуроченный к отложениям неоген-четвертичного возраста ($N_{II}-Q_I$) (рис. 2).

В формировании водоносного горизонта грунтовых вод *аллювиальных отложений Сырдарьинского комплекса* (aQ_{IVsd}) основную роль играют поверхностные воды р. Сырдарьи и региональный поток вод предгорного шлейфа. Поток грунтовых вод направлен параллельно руслу реки, на участках расширяющейся долины происходит поглощение речных вод, а на участках сужения русла наблюдается выход родников. В последние десятилетия, химический состав подземных вод видоизменился за счет влияния речных вод. Так, минерализация возросла до 2 г/л, жесткость — до 18 мг-экв. Химический состав вод сульфатно-натриевый.

Основными источниками питания подземных вод *аллювиально-пролювиальных отложений Голодностепского комплекса* (apQ_{IIIgl}) являются поверхностный сток и частично оросительные воды. Питание происходит за счет селевых потоков, атмосферных осадков, оросительных вод. Резкое увеличение водообильности горизонтов подземных вод и степени проницаемости отложений объясняется их тесной связью с водами р. Сырдарьи. По химическому составу подземные воды сульфатно-гидрокарбонатные и сульфатно-хлоридные кальциево-магниевого типа. Предгорный шлейф является областью поглощения и рассеивания временных потоков поверхностных и подземных вод. Разгрузка подземных вод осуществляется за счет скрытого дренирования в р. Сырдарье и через источники.

Подземные воды, приуроченные к *аллювиально-пролювиальным отложениям Ташкентского комплекса* (apQ_{II}), вскрываются на разных интервалах. Горизонт является достаточно водообильным. По составу воды гидрокарбонатно-кальциевые

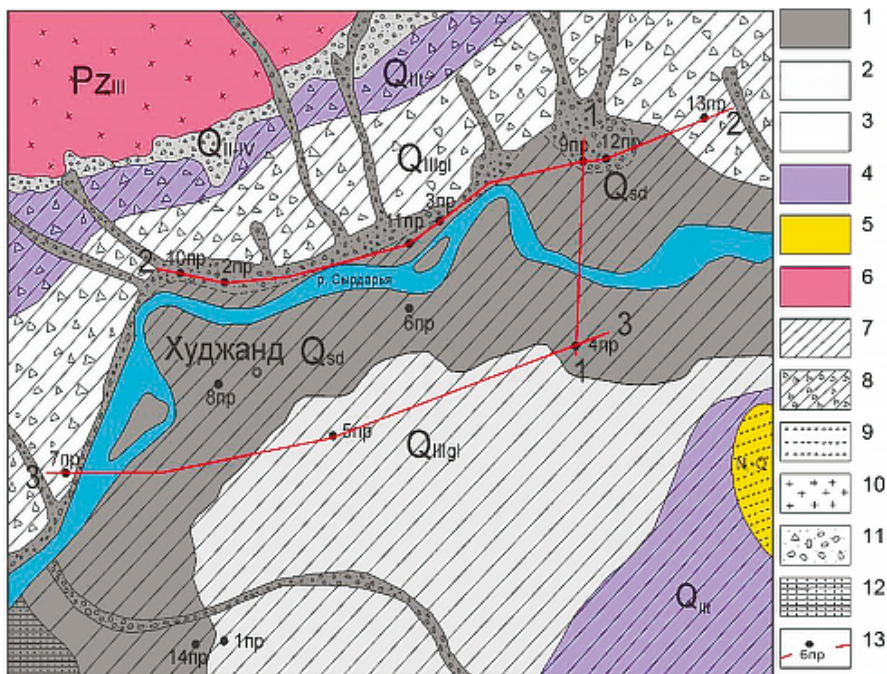


Рис. 2. Гидрогеологическая карта исследуемой территории:

1 — водоносный горизонт aQ_{IVsd} ; 2 — водоносный горизонт arQ_{IIIgl} ; 3 — водоносный горизонт делювиально-пролювиальных и аллювиально-пролювиальных отложений $darQ_{IIIgl}$; 4 — водоносный горизонт Q_{II} ; 5 — водоносный горизонт $N_{II}-Q_I$; 6 — отложения Палеозоя; 7 — суглинки; 8 — щебнистые отложения с суглинистым заполнителем; 9 — конгломераты; 10 — гранодиориты; 11 — галечник с щебнисто-песчаным заполнителем; 12 — заболоченный участок современной долины р. Сырдарьи (переслаивание супесей, песков, суглинков); 13 — опорные точки на линиях разреза

или сульфатно-кальциевые. Уровни подземных вод тесно зарегулированы р. Сырдарьей. Основным источником питания водоносного комплекса служат воды р. Сырдарьи. Атмосферные осадки имеют подчиненное значение.

Подземные воды, приуроченные к *неоген-четвертичным отложениям* ($N_{II}-Q_{II}$), распространены повсеместно. Наиболее обводнена верхняя часть отложений неоген-четвертичного возраста. Химический состав вод сульфатно-кальциевый, сульфатно-натриевый и сульфатно-магниевый. Формирование подземных вод происходит за счет подземного и поверхностного стока. Нижнюю часть разреза можно считать относительно водоупорной (Алямов и Содиков, 2009).

После исследования особенностей геолого-гидрогеологических условий территории и изучения химического состава поверхностных и подземных вод (отдельно по каждому водоносному горизонту), была проведена оценка запасов подземных вод. Анализ гидрогеохимических данных, а также величины запасов подземных вод позволили выделить комплексы, перспективные для водоснабжения. Оценка запасов подземных вод проведена на основе данных о понижении их объема при заданном сроке эксплуатации (25 лет) и заданной нагрузке. Исходя из данных о понижении в каждой скважине по удельному дебиту рассчитан коэффициент фильтрации с использованием программного комплекса ANSDIMAT (Синдаловский, 2014).

На основе фактического материала создана аналитическая модель, в рамках которой предлагаются уравнения. Для правого берега р. Сырдарья была выбрана схема «пласт — полоса» (река и предгорный шлейф Могул-Тай), уравнение

$$S = \frac{Q}{4\pi km} \left\{ \begin{aligned} &W\left(\frac{r^2}{4at}\right) \\ &+ \frac{2m^2}{\pi^2 l_w^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{n^2} W\left(\frac{r^2}{4at}, \frac{n\pi r}{m}\right) \left(\sin \frac{n\pi z_{w_1}}{m} - \sin \frac{n\pi z_{w_2}}{m} \right)^2 \right] \\ &+ \sum_{j=1}^n (-1)^j \sum_{i=1}^2 \left\{ \begin{aligned} &W\left(\frac{(\rho^j)^2}{4at}\right) \\ &+ \frac{2m^2}{\pi^2 l_w^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{n^2} W\left(\frac{(\rho^j)^2}{4at}, \frac{n\pi \rho^j}{m}\right) \times \right. \\ &\left. \times \left(\sin \frac{n\pi z_{w_1}}{m} - \sin \frac{n\pi z_{w_2}}{m} \right)^2 \right] \right\} \end{aligned} \right\}. \quad (1)$$

Для левого берега выбрана схема «полуограниченный пласт» (река), уравнение

$$s = \frac{Q}{4\pi km} \left\{ \begin{aligned} &W\left(\frac{r^2}{4at}\right) + \\ &+ \frac{2m^2}{\pi^2 l_w^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{n^2} W\left(\frac{r^2}{4at}, \frac{n\pi r}{m}\right) \left(\sin \frac{n\pi z_{w_1}}{m} - \sin \frac{n\pi z_{w_2}}{m} \right)^2 \right] - \\ &- W\left(\frac{\rho^2}{4at}\right) - \\ &- \frac{2m^2}{\pi^2 l_w^2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{n^2} W\left(\frac{\rho^2}{4at}, \frac{n\pi \rho}{m}\right) \left(\sin \frac{n\pi z_{w_1}}{m} - \sin \frac{n\pi z_{w_2}}{m} \right)^2 \right] \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где a — пьезопроводность водоносного пласта, м²/сут; k — коэффициент фильтрации, м/сут; l_w — длина фильтра опытной скважины, м; m — мощность водоносного пласта, м; Q — расход опытной скважины, м³/сут; r — радиус опытной скважины, м; s — понижение в опытной скважине, м; t — время от начала от-

качки, сут; z_{w_1}, z_{w_2} — расстояние от кровли водоносного пласта до фильтра опытной скважины, м; ρ — расстояние между опытной и фиктивной скважинами, м; ρ — расстояние между опытной и j -й фиктивной скважинами, отраженной от левой ($i = 1$) или правой ($i = 2$) плановой границы, м. Функция влияния скважины определяется выражением

$$W(u) = \int_u^{\infty} \frac{\exp(-\tau)}{\tau} d\tau, \quad (3)$$

а функция влияния скважины с учетом перетекания — выражением

$$W(u, \beta) = \int_u^{\infty} \frac{1}{\tau} \exp\left(-\tau - \frac{\beta^2}{4\tau}\right) d\tau. \quad (4)$$

Такой подход позволяет учитывать контур постоянного питания и несовершенство скважин. Границей обеспеченного питания для левого и правого берегов является р. Сырдарья.

Уравнения нестационарной фильтрации (1), (2) построены на основе решения Хантуша (Hantush, 1961). Затем были проанализированы коэффициенты фильтрации, полученные по удельному дебиту и согласно аналитическому решению.

Плановая граница фильтрационного потока незначительно влияет на стабилизацию уровня мощных водоносных горизонтов, а в основном на нее влияет лишь емкость пласта. Для проверки этого утверждения была выбрана схема напорного водоносного пласта с несовершенной по степени вскрытия скважиной, расположенной в водоносном пласте неограниченной мощности.

В некоторых скважинах расчетные и фактические понижения отличаются. Это связано с тем, что более глубокие скважины расположены в наименее проницаемой части водоносного пласта, где значения занижены (коэффициент фильтрации, водоотдача).

3. Результаты исследований

Анализ многолетних данных позволяет говорить, что вероятность значимого падения уровня р. Сырдарья и сформировавшийся гидрогеохимический облик не позволяют использовать эти воды в качестве питьевых. Соответственно, единственным источником водоснабжения г. Худжанда выступают подземные воды. Однако существующие водозаборы в г. Худжанде, обустроены на Сырдарьинский (аQ_{IVsd}) и Голодностепский (Q_{IIIgl}) водоносные горизонты, где с 2006 г. фиксируют рост минерализации, жесткости, концентрации ряда компонентов (сульфатов, кальция, магния, нитратов). Даже если учесть проведенные нами расчеты зон санитарной охраны (ЗСО) действующих водозаборов, изменить негативные изменения химического состава не удастся. К тому же реально создать ЗСО крайне сложно, так как в г. Худжанде существует плотная застройка.

Таким образом, согласно результатам исследования, нужно отметить, что для хозяйственно-питьевого водоснабжения пригодны лишь воды нижней части Ташкентского водоносного комплекса (Q_{IIft}). Остальные водоносные горизонты терри-

тории менее защищены от поверхностного загрязнения, соответственно имеют ряд показателей, которые не удовлетворяют или критически приближены к нормам СанПиН².

Исследования позволили выделить несколько рабочих интервалов, оптимальных для эксплуатации подземных вод $Q_{пт}$ в зависимости от фильтрационных параметров толщи и химического состава подземных вод. Таким образом, говоря о новых сценариях водоснабжения г. Худжанда, целесообразно эксплуатировать Ташкентский водоносный комплекс в пределах глубин 140–180 м. Расчеты показали, что запасы $Q_{пт}$ обеспечены и удовлетворяют темпам водопотребления.

4. Обсуждение результатов

Изменение концентраций микро- и макрокомпонентного состава речных и подземных вод связано не только с климатическими факторами и физико-химической обстановкой, а в большей степени с антропогенным влиянием. Подтверждением этого служит искажение величины ионного стока (2.5–2.7 т/год). И никаких сомнений не возникает, что использовать поверхностные воды р. Сырдарьи для централизованного водоснабжения в пределах исследуемой территории не рекомендуется. Однако специальная многоуровневая очистка позволяет использовать эти воды для хозяйственных нужд. А это крайне нерентабельно. Но, кроме компонентного состава, антропогенное влияние искажает уровень речных вод. Так, перехват речного стока для оросительных целей приводит к падению уровня воды в реке (в 1970-х годах произошло падение уровня на 9 м) и образованию зоны осушения, что сказывается на условиях питания подземных вод Сырдарьинского и Голодно-степского водоносных горизонтов. В то же время в периоды орошения формируется зона опреснения, которая достигает глубин залегания подземных вод. Объемы дренажно-оросительных вод и наличие коллекторов ниже по течению влияют на минерализацию речных вод. Очевидна зависимость минерализации речных вод от объемов орошения. При минимальных расходах реки (март — апрель) зафиксированы максимальные значения минерализации, что объясняется отсутствием разбавления с более пресными оросительными водами. А при максимальных расходах (май — август) — минимальные значения минерализации. Но режим полива сказывается не только на речных, но и на подземных водах.

Не стоит забывать, что пестрый химический состав верхней части разреза может быть связан с континентальным засолением. И дальнейший рост минерализации уровня грунтовых вод способствует дополнительному засолению почв. В данном контексте необходимы постоянный мониторинг и прогноз изменения химического состава, уровня грунтовых вод. В глубинах более 180 м также увеличивается минерализация и растет содержание сульфатов. Очевидно, что значимые концентрации сульфатов в $N_{II}-Q_I$, связаны с наличием загипсованных пород. Кристаллизация гипса происходила в условиях гидрокарбонатных вод и дефицита CO_2 , впоследствии состав подземных вод преобразовывался в сульфатно-натриевый. Не исключена роль бактерий, способствующих ускорению процессов окис-

² СанПиН 2.1.4.004-07. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарные правила и нормы. Министерство здравоохранения Республики Таджикистан. Душанбе.

ления сульфидных минералов и появлению сульфат-иона в водах. Поэтому в качестве перспективных выделены участки в пределах комплекса Q_{пт}, где отсутствует антропогенное влияние в силу защищенности водоносной системы и фильтрационных параметров.

5. Выводы

Повышенные концентрации ряда компонентов и минерализация природных вод в целом определяются влиянием на них сельскохозяйственного комплекса и системы орошения. Существующие водозаборы в г. Худжанде, которые эксплуатируют Сырдарьинский и Голодностепский водоносные горизонты, требуют модернизации. Учитывая плохую защищенность этих водоносных горизонтов и неудовлетворительное качество вод, их эксплуатация нецелесообразна.

После оценки химического состава подземных вод исследуемого района следует отметить, что для хозяйственно-питьевого водоснабжения пригодны воды нижней части Ташкентского комплекса. Во избежание подтока более соленых или загрязненных вод следует придерживаться заданного режима эксплуатационных скважин и обустроить скважины с положением фильтров на глубинах в пределах от 140 до 180 м. Кроме того, схемы водозаборов должны учитывать зоны санитарной охраны, соблюдая регламент, и тем самым защищать водозаборы от загрязнения.

Литература

- Алямов, И. и Содиков, М. (2009). Южно-Таджикская геолого-разведочная экспедиция: опыт и итоги работы. *Горный журнал*, 8, 56–59.
- Синдаловский, Л. Н. (2014). Аналитическое моделирование опытных опробований водоносных пластов и скважинных водозаборов (программный комплекс ANSDIMAT). СПб.: Наука.
- Hantush, M. S. (1961). Drawdown around a partially penetrating well. *Journal of the Hydraulics Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 87 (N HY4), 83–98.

Статья поступила в редакцию 30 января 2023 г.
Статья рекомендована к печати 10 ноября 2023 г.

Контактная информация:

Вивенцова Екатерина Алексеевна — viventsova@gmail.com
Ермаков Александр Валерьевич — ermakov@ginras.ru

Assessment of the hydrochemical composition of groundwater and development of new operating scenarios for water supply (Tajikistan)

E. A. Viventsova¹, A. V. Ermakov²

¹ St. Petersburg State University,

7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

² Geological Institute of the Russian Academy of Sciences,

7, per. Pyzhevsky, Moscow, 119017, Russian Federation

For citation: Viventsova, E. A., Ermakov, A. V. (2023). Assessment of the hydrochemical composition of groundwater and development of new operating scenarios for water supply (Tajikistan). *Vestnik of Saint Petersburg University. Earth Sciences*, 68 (4), 646–655. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2023.402> (In Russian)

The main study task was dictated by the growth rate of water consumption, namely the development of new scenarios for the exploitation of groundwater for water supply purposes. The assessment of surface and groundwater quality in the area showed a tendency to increase mineralization, hardness, a number of chemical components (up to exceeding the limited concentration). Analysis and interpretation of long-term groundwater chemical data, as well as the intensity of surface runoff, within the study area, allowed us to identify anthropogenic influence on the amount of runoff. According to the results of the study, the growth of infiltration nutrition (due to the expansion of irrigation areas) is reflected into deterioration of groundwater quality. In addition, the existing water intakes are located within the city limits, which creates an additional threat of bacterial and organic pollution. The new scenarios of groundwater exploitation are based on the features of the hydrogeological section, the results of hydrochemical studies, the amount of groundwater reserves of individual aquifers, calculations of sanitary protection zones of water intakes. The Amwells module (ANSDIMAT software package) was used to estimate groundwater reserves, so an analytical model was created based on the actual material. Thus, an extremely demanded detailed characterization of the groundwater of the studied area was carried out, some of which are suitable for use as drinking water.

Keywords: groundwater pollution, water supply, ecological state of natural waters, surface runoff.

References

- Alyamov, I. and Sodikov, M. (2009). South Tajik geological exploration expedition: experience and results of work. *Gornyi zhurnal*, 8, 56–59. (In Russian)
- Hantush, M.S. (1961). Drawdown around a partially penetrating well. *Journal of the Hydraulics Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 87 (N HY4), 83–98.
- Sindalovsky, L.N. (2014). *Analytical modeling of experimental testing of aquifers and borehole water intakes (ANSDIMAT software package)*. St. Petersburg: Nauka Publ. (In Russian)

Received: January 30, 2023
Accepted: November 10, 2023

Authors' information:

Ekaterina A. Viventsova — viventsova@gmail.com
Aleksandr V. Ermakov — ermakov@ginras.ru