

Д. А. Новиков^{1,2✉}, Н. А. Медешова², К. О. Жинақ²

Радиоактивность подземных вод юго-восточных районов Казахстана

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука,
г. Новосибирск, Российская Федерация

²КазННТУ имени К.И.Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан.
e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Аннотация. В работе рассмотрены факторы, определяющие формирование радионуклидного состава подземных вод на территории юго-востока Республики Казахстан. Установлено, что первостепенное значение среди них имеют геолого-тектонические особенности гидрогеологических структур и характер залегания водопроницаемых пород. Показан широкий диапазон изменения содержания урана — от $4,8 \cdot 10^{-6}$ до 78 мг/дм^3 . Максимальные концентрации (до 10 мг/дм^3 и выше) зафиксированы в кислых подземных водах зон окисления урановых месторождений. В околонейтральных водах рудоносных пород содержание урана варьируется от 0,1 до 10 мг/дм^3 , а за пределами месторождений снижается до $n \cdot 10^{-1} \text{ мг/дм}^3$. При благоприятных гидрогеохимических условиях накопление урана возможно не только в рудных районах, но и вне их.

Ключевые слова: уран, подземные воды, Казахстан

D. A. Novikov^{1,2✉}, N. A. Medeshova², K. O. Zhynak²

Radioactivity of groundwater in southeastern regions of Kazakhstan

¹Trofimuk Institute of Petroleum geology SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

²Satbaev University, Almaty, Kazakhstan
e-mail: NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Abstract. The factors determining the formation of the radionuclide composition of groundwater in the southeastern part of the Republic of Kazakhstan are considered. It is established that the geological and tectonic features of hydrogeological structures and the nature of the occurrence of permeable rocks are of primary importance among them. A wide range of uranium concentrations is shown, from $4.8 \cdot 10^{-6}$ to 78 mg/dm^3 . Maximum concentrations (up to 10 mg/dm^3 and higher) are recorded in acidic groundwater of the oxidation zones of uranium deposits. In near-neutral waters of ore-bearing rocks, the uranium content varies from 0.1 to 10 mg/dm^3 , and outside the deposits it decreases to $n \cdot 10^{-1} \text{ mg/dm}^3$. Under favorable hydrogeochemical conditions, uranium accumulation is possible not only in ore districts but also outside them.

Keywords: uranium, groundwater, Kazakhstan

Во многих регионах мира радиохимия подземных вод изучена очень слабо. Между тем, глубокое понимание их изотопно-геохимической специфики и учет всей совокупности радиохимических параметров являются обязательным условием для определения качества питьевого водоснабжения. В современной науке неоспорим высокий интерес к процессам миграции и концентрирования нуклидов в различных

геохимических обстановках. В частности, дискуссионными остаются вопросы перераспределения элементов в гидрогеологических системах. Особое внимание уделяется эволюционному развитию системы «вода–порода» и ее рудогенерирующему потенциалу. Поскольку минералы и рассеянное органическое вещество выступают основными источниками растворенных компонентов, для установления их влияния на состав вод используют широкий спектр методов исследований.

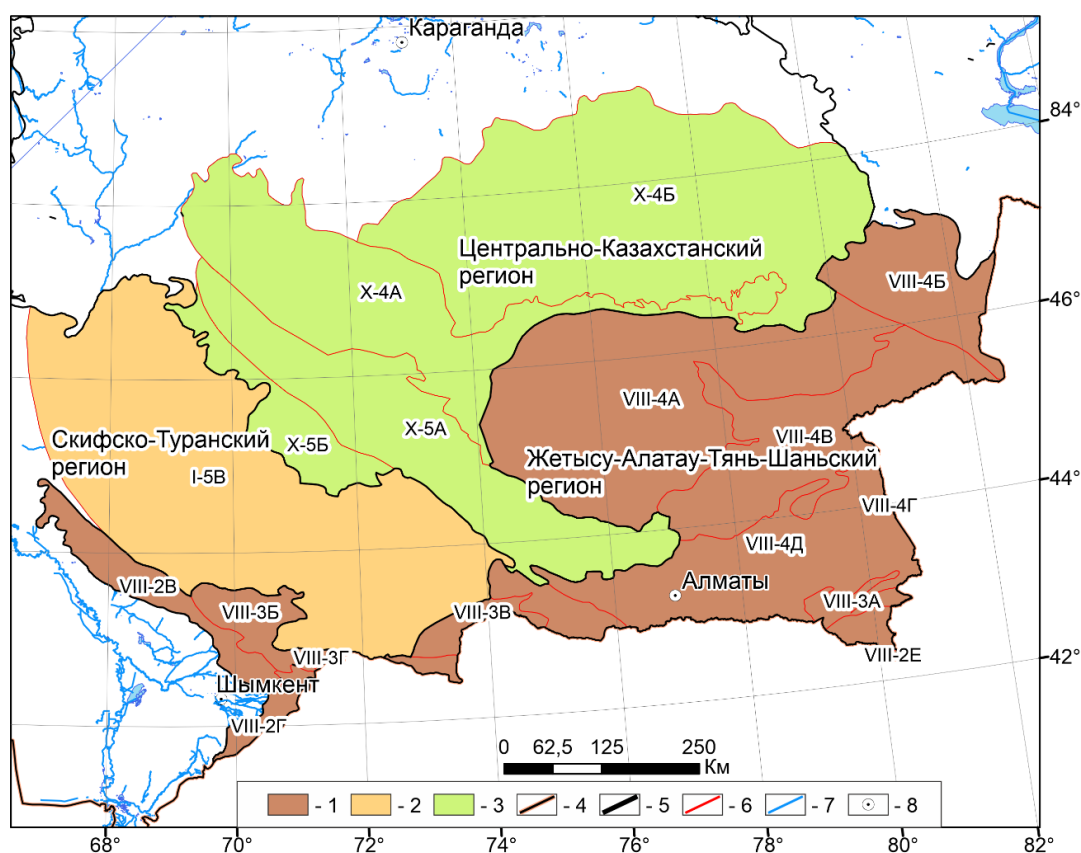


Рис. 1. Гидрогеологическое районирование юго-востока Казахстана.

- 1 – Жетысу-Алатау-Тянь-Шаньский регион, 2 – Скифско-Туранский регион,
3 – Центрально-Казахстанский регион, 4 – граница Республики Казахстан,
5 – границы гидрогеологических регионов, 6 – границы бассейнов, 7 – гидрография,
8 – населенные пункты

Республика Казахстан располагает значительными запасами урана. Его месторождения встречаются как в палеозойском складчатом фундаменте, так и в мезозойско-кайнозойском платформенном чехле (рис. 2). Наибольший интерес с точки зрения промышленной добычи представляют эпигенетические место-

рождения пластово-инфильтрационного типа, формирующиеся в зонах регионального пластового окисления в отложениях мелового и палеогенового возраста. По всему разрезу платформенного чехла – от триасовых до четвертичных отложений – широко распространены многочисленные экзодиагенетические урановые проявления, связанные с грунтово-инфильтрационными процессами. Они приурочены к континентальным палеодолиненным, пойменным и аллювиальным отложениям, при этом их запасы, как правило, не превышают уровня мелких месторождений [1-2].

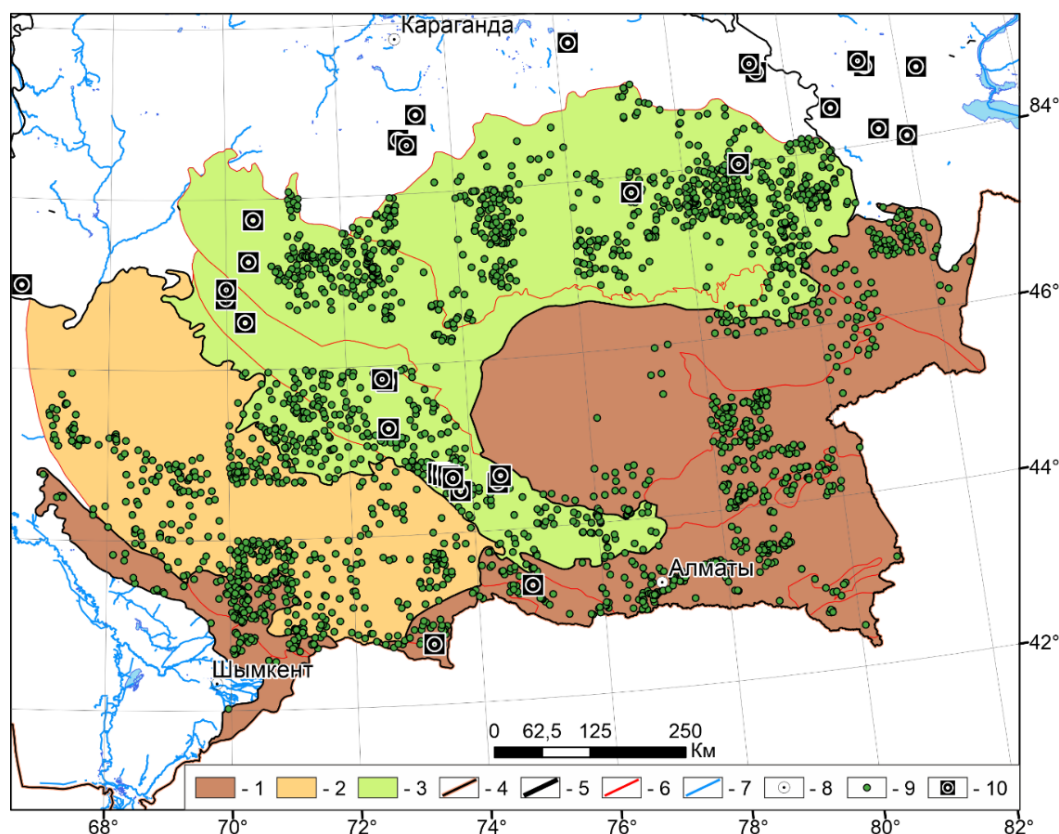


Рис. 2. Распределение месторождений урана и точек опробования по гидрогеологическим структурам Казахстана.

- 1 – Жетысу-Алатау-Тянь-Шаньский регион, 2 – Скифско-Туранский регион, 3 – Центрально-Казахстанский регион, 4 – граница Республики Казахстан, 5 – границы гидрогеологических регионов, 6 – границы бассейнов, 7 – гидрография, 8 – населенные пункты, 9 – точки опробования, 10 – месторождения урана

Методы и материалы

Выполнено обобщение многолетних гидрогеохимических исследований, проводимых на территории Республики Казахстан с 50-ых годов прошлого века. Результаты гидрогеохимического опробования сведены в единую базу данных, представленную более 2400 записями (пробами). По территории исследований

также использовались материалы, по пробам, отобранным при проведении полевых работ в 2024-2025 гг. и ранее [3].

Непосредственно в полевых условиях замерялись: температура, pH, Eh, концентрация растворенного O₂. Для этих целей применялись переносные приборы Hanna HI9125, АКПМ-1-02Л, а также кондуктометр Seven2Go (Mettler Toledo) для оценки минерализации. Чтобы исключить влияние взвешенных частиц, пробы подвергались вакуумной фильтрации через мембраны 0.45 мкм сразу после отбора. Основной аналитический этап выполнялся на базе ПНИЛ гидрогеохимии ТПУ. Ионный состав (основные катионы и анионы) изучался хроматографическим методом, в то время как микроэлементный профиль, включая уран, изучался с помощью ICP-MS. Дозиметрический контроль осуществлялся прибором «Дрозд», а концентрация радона оперативно измерялась комплексом «Альфа-рад плюс» в день полевых работ.

Результаты и обсуждение

Формирование и распространение подземных вод определяется множеством причин, однако ключевая роль отводится геолого-тектоническому строению гидрогеологических структур, а также условиям залегания водопроницаемых пород, которые служат природными резервуарами для накопления подземных вод с разным химическим составом. Между гидрогеохимической обстановкой и структурно-тектоническими особенностями выявлена тесная взаимосвязь, что указывает на влияние последних на формирование как макро-, так и микрокомпонентного состава вод. К числу наиболее значимых характеристик относятся также типы гидрогеологических разрезов, отражающие специфику соответствующих структур. На изучаемой территории выделяют две системы бассейнов с напорными и безнапорными водами [4]: области (платформы) с преобладанием порово-пластовых вод (Скифско-Туранская-I), а также области с преобладанием трещинных, трещинно-жильных и трещинно-карстовых вод, к которым относятся межгорные и внутригорные впадины, современные и древние речные долины с поровыми и порово-пластовыми водами (Жетысу-Алатау-Тянь-Шаньская-VIII, Центрально-Казахстанская-X) [5]. Внутри этих регионов выделяются бассейны первого порядка (см. рис. 1).

Скифско-Туранский регион – I

Рассматриваемый регион представляет собой систему бассейнов пластовых и блоково-пластовых вод, охватывающую эпипалеозойскую плиту, располагающуюся в периферийной части древней Восточно-Европейской платформы. Области распространения пластовых вод приурочены к крупным отрицательным структурам фундамента. В границах Туранской плиты насчитывается пять бассейнов первого порядка с безнапорными и напорными водами. Подземные воды Скифско-Туранского региона имеют преимущественно Cl-SO₄ Na состав (рис. 3) с величиной общей минерализации, варьирующей от 0,041 до 183 г/дм³.

Жетысу-Алатау - Тянь-Шаньский регион – VIII

В пределах рассматриваемой территории развиты системы бассейнов, содержащие воды пластового и трещинно-карстового типа. Формирование этих

структур связано с палеозойскими складчатыми комплексами, были преобразованы в систему крупных впадин в мезозойское и кайнозойское время. Из четырех выделяемых здесь бассейнов первого порядка три расположены на казахстанской территории: это Жетысу-Алатау-Балкашский, Северо-Тянь-Шаньский и Центрально-Тянь-Шаньский.

Воды Северо-Тянь-Шаньского бассейна по составу HCO_3Ca и SO_4Na с величиной общей минерализации от пресных до 15 г/дм³ (рис. 3). В восточной части бассейна установлены пресные (0,15 – 0,97 г/дм³) и солоноватые (1,3 – 7,5 г/дм³) воды, в западной встречаются соленые с величиной общей минерализации до 15 г/дм³ SO_4Na состава.

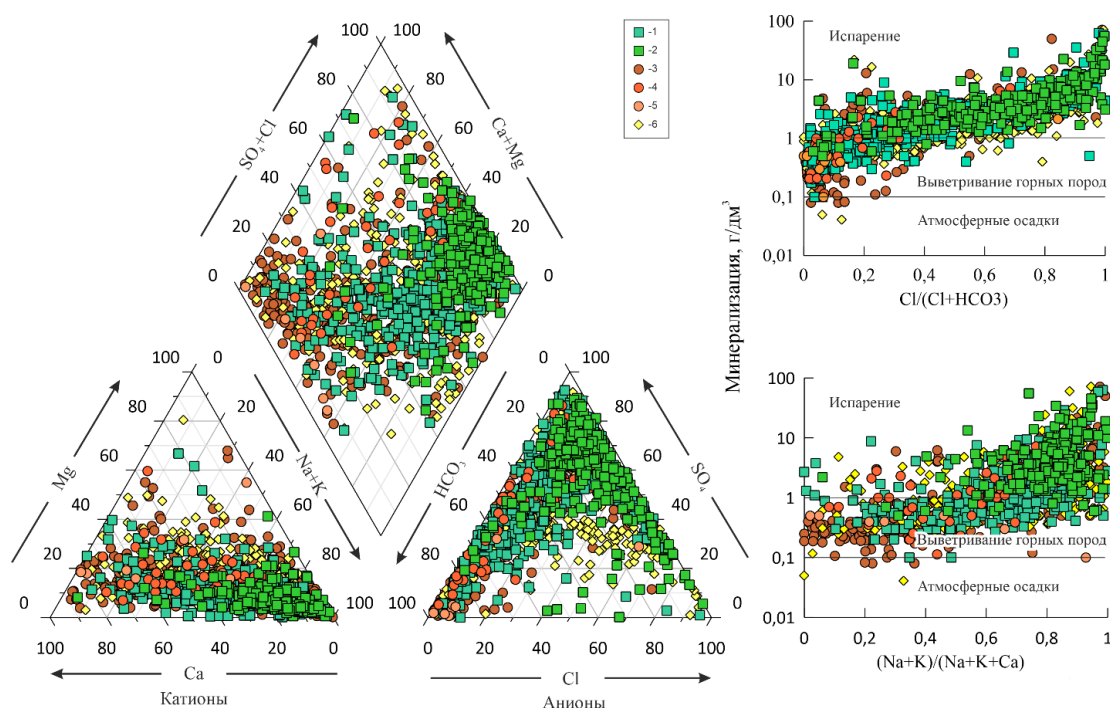


Рис. 3. Диаграмма Пайпера подземных вод юго-восточного Казахстана.

Регионы и бассейны: Центрально-Казахстанский: 1 – Прибалкашский, 2 – Шу-Илейский, Жетысу-Алатау-Тянь-Шаньский: 3 – Жетысу-Алатау-Балкашский, 4- Северо-Тянь-Шаньский, 5 – Центрально-Тянь-Шаньский, Скифско-Туранский: 6 – Приарало-Торгай-Шу-Сарысуский

Центрально-Казахстанский регион – X

Регион приурочен к Центрально-Казахстанской складчатой области, сложенной в основном каледонидами с подчиненными блоками герцинид. Для обнаженных интрузивных массивов характерно формирование пресных гидрокарбонатных кальциевых подземных вод. Подземные воды Центрально-Казахстанского региона в основном имеют $\text{Cl-SO}_4\text{Na}$ и Cl Na состав величиной общей минерализации от пресных до 113 г/дм³.

Распределение урана в подземных водах

Согласно полученным нами результатам, Распределение урана в подземных водах основных гидрогеологических регионов Казахстана весьма неоднородно и варьирует по основным бассейнам в очень широких пределах (табл. 1). Наиболее высокие содержания урана в подземных водах установлены в пределах (мкг/дм³): Приарало-Торгай-Шу-Сарысуский (до 6500), Жетысу-Алатау-Балкашский (до 50000), Прибалкашский (до 78000), Шу-Илейский (до 8000). Наибольшие значения зафиксированы в кислых подземных водах, формирующихся в зонах окисления урановых рудных тел (например, на месторождениях Мирный, Кызылсай, Шорлы, Джусандалинское и др.). В слабощелочных и нейтральных водах, циркулирующих в ураноносных породах, содержание урана обычно находится в интервале 0,1–10 мг/дм³. За границами рудных полей этот показатель падает до величин порядка $n \cdot 10^{-1}$ мг/дм³. Следует особо отметить, что повышенные концентрации урана могут возникать не только в водах, непосредственно связанных с его месторождениями.

Таблица 1. Распределение урана в подземных водах гидрогеологических регионов Казахстана

Бассейн	Минерализация, г/дм ³	Доминирующий хим. тип	Распределение, мг/дм ³
Скифско-Туранский			
Приарало-Торгай-Шу-Сарысуский	0,1-71,9 4,1 (549)	Cl Na SO ₄ Na	0-6500 49 (605)
Жетысу-Алатау-Тянь-Шаньский			
Жетысу-Алатау-Балкашский	0-71,3 1,6 (515)	HCO ₃ Ca	0-50000 183 (553)
Северо-Тянь-Шаньский	0,1-15,1 1,4 (132)	HCO ₃ Ca SO ₄ Na	1-1200 75 (205)
Центрально-Тянь-Шаньский	0,1-2,1 1 (17)	HCO ₃ Ca	1-480 48 (38)
Центрально-Казахстанский регион			
Прибалкашский	0-62,8 2,6 (573)	SO ₄ -HCO ₃ Na SO ₄ Na HCO ₃ -SO ₄ Na	0-78000 232 (861)
Шу-Илейский	0-113,2 6,2 (308)	SO ₄ Na SO ₄ -Cl Na	0-8000 264 (354)

Заключение

В настоящей работе выполнено первое обобщение данных по ураноносности подземных вод юго-восточных районов Казахстана. Максимальные концентрации которого связаны с его месторождениями. Радионуклидный состав и распрост-

ранение подземных вод определяются множеством факторов, среди которых ключевую роль играют геолого-тектоническое строение гидрогеологических структур и условия залегания водопроницаемых пород. Концентрация урана в подземных водах юго-восточных районов Казахстана варьируется в широких пределах – от $4,8 \cdot 10^{-6}$ до 78 мг/дм^3 . Самые высокие значения (до 10 мг/дм^3 и более) характерны для кислых вод в зонах окисления урановых руд (месторождения Мирный, Кызылсай, Шорлы, Джусандалинское и др.). В околонейтальных водах рудоносных толщ содержание урана составляет $0,1\text{--}10 \text{ мг/дм}^3$, а за пределами месторождений снижается до $n \cdot 10^{-1} \text{ мг/дм}^3$. Кроме того, установлено, что при подходящих гидрогеохимических условиях накопление урана возможно и на удалении от рудных залежей.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан грант № AP22685193 «Природа радиоактивности подземных вод в Алматинской области» (№ 73/ЖҒБ24-26 от 20.06.2024).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жолтаев Г.Ж., Жуков Н.М., Антоненко А.А. Атлас закономерностей размещения месторождений твердых полезных ископаемых Республики Казахстан. – Алматы: ТОО «Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева», 2023. – 265 с.
2. Петров Н.Н., Языков В.Г., Аубакиров Х.Б., Плеханов В.Н., Вершков А.Ф., Лухтин В.Ф. Урановые месторождения Казахстана: (экзогенные). Алматы: Гылым, 1995. – 264 с.
3. Медешова Н.А., Новиков Д.А., Ауелхан Е.С., Антоненко А.А., Максимова А.А., Деркачев А.С., Дульцев Ф.Ф., Орынбек А.М., Минискул Ш.Д., Черных А.В., Хвощевская А.А. Уран в подземных водах Северного Казахстана // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 10. – С. 203-215.
4. Атлас гидрогеологических карт Республики Казахстан. – Алматы: ТОО «А-Три-Принт», 2022. – 85 с.
5. Смоляр В.А., Буров Б.В., Веселов В.В., Махмутов Т.Т., Касымбетов Д. Водные ресурсы Казахстана (поверхностные и подземные воды, современное состояние). – Алматы: Гылым, 2002. – 596 с.

© Д. А. Новиков, Н. А. Медешова, Қ. О. Жинақ 2026