

УДК 574.2:550.47

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОЛЕВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ПИТЬЕВЫХ ВОД ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА

Шарипова Ботагоз Ураловна¹,
oralovna82@mail.ru

Какабаев Ануарбек Аязбаевич¹,
anuarka@mail.ru

Барановская Наталья Владимировна²,
nata@tpu.ru

Арынова Шынар Жаныбековна³,
shinar_uzh@mail.ru

Корогод Наталья Петровна⁴,
natalya_korogod@mail.ru

¹ Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова,
Республика Казахстан, 020000, г. Кокшетау, ул. Абая, 76.

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

³ НАО «Торайгыров университет»,
Республика Казахстан, 140000, г. Павлодар, ул. Ломова, 64.

⁴ Павлодарский педагогический университет,
Республика Казахстан, 140002, г. Павлодар, ул. Мира, 60.

Актуальность работы. В связи с неблагоприятной экологической обстановкой на территории Южного Казахстана существует необходимость получения данных о природных и природно-антропогенных геохимических процессах, протекающих в условиях урбанизации и развития промышленности, в том числе урановых разработок. Для оценки изменения эколого-геохимического состояния территории использовали элементный состав солевых образований питьевых вод, так как данный компонент экосистемы зарекомендовал себя как достоверный индикатор загрязнения окружающей среды.

Цель: изучить особенности элементного состава солевых отложений питьевых вод на территории Южного Казахстана.

Методы: инструментальный нейтронно-активационный анализ.

Результаты. Были проанализированы химические элементы в солевых образованиях питьевых вод Южного Казахстана (Кызылординская и Туркестанская области). Выделена ведущая группа элементов в накопи питьевых вод изученной территории – Na, Ca, Fe (структурообразующие), Zn, Sr, Ba (изоморфное замещение в структуре карбоната кальция). Наблюдается неоднородное распределение почти всех изучаемых элементов, за исключением Ca. Региональной спецификой Южного Казахстана является повышенное содержание в антропогенных карбонатах Zn, U, Sr, Ag. Повышенное содержание U и TR приурочено к районам ураново-редкоземельных месторождений пластово-инфильтрационного типа мел-палеогенового возраста Шу-Сарысуиской и Сырдарьинской провинций. Выявлены специфические элементы в солевых образованиях питьевых вод для Туркестанской области (Cs, Eu, U, Ca, Sc, Sr, Ba, Au, Co, Ag, Sb, La, Tb, Hf, Ta) и Кызылординской области (Zn, Sb, Yb, Ta, Na, Th, Fe, As, Cr, Sm, Hf, Co, Lu, Ce, Br, Ca, Rb, Ag, Tb, Au).

Ключевые слова:

Химические элементы, солевые отложения, техногенез, Южный Казахстан, питьевые воды, урановые месторождения.

Введение

Водообеспечение различных отраслей экономики и населения чистой качественной питьевой водой является одним из приоритетных задач Республики Казахстан [1].

Особенно важным является водообеспеченность и рациональное потребление водных ресурсов в районе бассейна реки Сырдарья, расположенной на территориях четырех государств, в том числе протекающей через Туркестанскую и Кызылординскую области.

Водные ресурсы изучаемой территории находятся в основном в пределах Арало-Сырдарьинского водохо-

зяйственного бассейна, незначительные ее части входят в Нура-Сарысуиский и Шу-Таласский бассейны.

Ресурсы Арало-Сырдарьинского бассейна складываются из стока реки Сырдарья и ее основных крупных притоков – Арыс, Келес, Бадам, Боролдай, Бугунь, а также рек, стекающих с Каратауских гор. Свое начало Сырдарья берет в Центральном Тянь-Шане при слиянии рек Нарын и Карадарья. Длина реки в пределах Казахстана составляет около 2200 км, площадь водосборного бассейна – 230 тыс. км². Питание реки в основном снеговое. Химический состав вод сульфатный натриевый, сульфатный кальциевый, минерализация от 0,8 до 1,4 г/л.

Для водопользования различных отраслей народного хозяйства и орошения полей от русла реки выведены ирригационные каналы [2, 3]. Вследствие интенсивного использования Сырдарьи происходит загрязнение ее вод, повышение минерализации (в составе солей преобладают $MgSO_4$, $Ca(HCO_3)_2$, $NaCl$, $CaSO_4$), а также низкий приход воды в Малый Арал [4–7].

Подземные воды сосредоточены в четвертичных аллювиальных образованиях речных долин, аллювиально-пролювиальных отложениях предгорных равнин и межгорных впадин, в палеоген-неогеновых и меловых отложениях артезианских бассейнов, в палеозойских породах горных систем. Разведанные запасы подземных вод составляют $7,2 \text{ км}^3/\text{год}$ [8]. Водовмещающие породы характеризуются изменчивостью литологического состава. Основными водовмещающими породами являются тонко- и мелкозернистые желтовато-серые и светло-серые пески, супеси с маломощными прослоями глин и суглинков.

Из-за широкого проявления эндогенных и экзогенных геологических процессов и различного литологического состава осадочных отложений подземные воды имеют различную степень минерализации – от пресных вод до соленых. Химический состав слабо солоноватых и пресных грунтовых вод сульфатно-гидрокарбонатный магниево-натриевый, солоноватых и соленых хлоридный или сульфатно-хлоридный кальциево-натриевый и хлоридный натриевый. Содержание микрокомпонентов в воде разнообразно и зависит от типа месторождения подземных вод [9].

Важным направлением развития региона является сельское хозяйство и разработка урановых месторождений. В качестве основных источников водоснабжения в регионе выступают поверхностные и подземные воды.

Контаминация вод, поступающих из подземных и поверхностных источников, выявлена на урбанизированных и аграрных территориях, а также территориях, прилегающих к промышленным предприятиям [10–13]. Доказано, что сельскохозяйственная деятельность приводит к загрязнению мышьяком поверхностных и подземных вод, что в дальнейшем может привести к хроническим заболеваниям у населения [14–17]. Индийскими учеными проведено исследование, подтверждающее, что процесс инфильтрации урана в поверхностные водные объекты вызван сельскохозяйственными стоками, в частности применением азотных удобрений [18]. Обнаружена корреляционная связь между повышенными концентрациями урана в воде и гематологическими изменениями у населения [19, 20]. Также специфика и металлогения подземных вод может отразиться на элементном составе волос человека [21, 22].

Для определения качества воды был использован достаточно новый, малоизученный компонент окружающей среды, а именно солевые отложения питьевых вод (накипь). Накипь – это твердые отложения, которые образуются на теплообменной посуде в результате длительного нагревания (кипячения). Преимущество такого объекта в том, что накипь является депонирующей средой, в которой накопление проис-

ходит в течение многих месяцев и отражает химический состав вод, из которых она формируется [23].

Так, на протяжении нескольких лет в результате исследований российских ученых было доказано, что элементный состав карбонатных отложений, образующихся при кипячении питьевых вод, отражает геохимические изменения в водоносных горизонтах, происходящие под воздействием природного и антропогенного факторов [24–28].

Особый интерес представляет концентрация урана в накипи, т. к. исследуемая нами территория лежит в пределах крупных урановорудных провинций – Шусарьсуйской и Сырдарьинской, которые заключают в себе более 76 % запасов урана, разведанных в республике Казахстан. Данные по содержанию урана в накипи позволят спрогнозировать ареол распространения радиоактивного элемента [29]. Часто изучаются вариации содержания урана в земной коре, которые указывают не только на его источник, но и на геохимические условия возникновения урана [30–34].

Также установлено, что основной источник урана в водных объектах обусловлен такими факторами, как выветривание, растворение, колебание уровня грунтовых вод и антропогенная деятельность [35, 36]. Поступая с водой в организм человека, уран может накапливаться в различных органах, таких как печень, почки, кости, селезенка, легкие, оказывая негативное влияние на организм в целом [37–39]. При хроническом поступлении урана в организм происходит нарушение кроветворной и нервной системы, а также лучевое поражение. Часто урану сопутствует торий, который может обладать тератогенным эффектом [40].

Целью исследования является изучение региональных особенностей элементного состава солевых отложений питьевых вод на территории Южного Казахстана.

Материалы и методы

Нами были изучены солевые отложения питьевых вод. Пробы отбирались на территории Кызылординской области в 13 населенных пунктах и в Туркестанской области в 17 населенных пунктах в период с 2018 по 2020 гг. (рис. 1).

Отбор проб и подготовка проводилась согласно патенту № 2298212 [41]. Пробы отбирались из эмалированной посуды (чайники), в которой многократно кипятилась вода, используемая для питья. Отобранная накипь высушивалась при комнатной температуре до сухого состояния, затем измельчалась в агатовой ступке и расфасовывалась в специальные алюминиевые пакетики по 100 гр. Общее количество населенных пунктов – 30, общее количество проб – 74.

Определение элементов осуществлялось с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) в лаборатории МИНОЦ «Урановая геология» Томского политехнического университета.

В рамках исследования была проведена математическая обработка полученных данных с помощью программ Excel и STATISTICA 7, которая включала в себя расчет среднего значения, стандартной ошибки, максимума, минимума (разброс), коэффициента вари-

ации. Проведена проверка на нормальность распределения выборки полученных результатов, осуществлен

корреляционный и кластерный анализ с построением дендрограммы.



Рис. 1. Карта-схема отбора проб солевых отложений питьевых вод на территории Кызылординской и Туркестанской областей

Fig. 1. Scheme map of sampling salt deposits of drinking water in the territory of Kyzylorda and Turkestan regions

При статистической обработке данных из выборки исключались пробы с аномальными показателями, принадлежность к аномально высоким показателям рассчитывалась по формуле:

$$\tau_i = \frac{|X_i - X_{cp}|}{s}$$

Коэффициент концентрации рассчитывался как соотношение содержания определенного элемента в исследуемой пробе к фоновому содержанию:

$$K_k = \frac{c}{c_k}$$

В качестве фонового содержания использовалась накипь из воды озера Байкал, как эталон пресной воды – из природного источника [24]. Коэффициент концентрации, имеющий значение выше 1, позволил построить геохимический ассоциативный ряд в порядке убывания.

Результаты исследования и их обсуждение

На территории Южного Казахстана были измерены концентрации 28 химических элементов периодической системы, результаты статистической обработки приведены в табл. 1.

Полученные результаты показали достаточно широкий диапазон значений по всем изучаемым элементам. Такой большой разброс значений можно объяснить тем, что водоносные горизонты имеют различный химический состав, что определяется особенностями водовмещающих пород, геологией, особенностями климата и процессами антропогенного воздействия [42].

Видно, что распределение большинства химических элементов (за исключением Ca) значимо отлича-

ется от нормального. Содержание в накипи таких элементов, как натрий, кальций, железо, цинк, стронций и барий, на несколько порядков выше, чем концентрация остальных элементов, данный факт можно объяснить тем, что они являются структурообразующими, в минеральном составе накипи питьевых пресных вод (табл. 1).

Содержание цинка, стронция и бария в антропогенных карбонатах обусловлено возможностью замещения кальция в кристаллической структуре основных минералов накипи кальцита и арагонита.

Показатель коэффициента вариации для Ca минимален (31 %), что указывает на однородность выборки. Для элементов Sr и U коэффициент вариации не превышает 100 % (соответственно 66 и 79 %). Остальные химические элементы, с более высокими коэффициентами вариации (более 100 %), имеют неоднородный характер распределения, что может говорить о сочетанном воздействии факторов (антропогенные и геологические). 14 элементов, имеющих коэффициент вариации от 100–200 % (Na, Sc, As, Br, Rb, Cs, Ba, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu), и 9 элементов с коэффициентом вариации от 200–500 % (Cr, Fe, Co, Zn, La, Hf, Ta, Au, Th), и только 2 элемента имеют коэффициент выше 500 – Ag и Sb.

При сравнении с литературными данными [43–46] солевые отложения питьевых вод территории Южного Казахстана характеризуются более высокими концентрациями таких химических элементов, как Na, Cr, As, Sr, Sb, La, Th, U, и низкими содержаниями Br, Ba, Yb.

Таблица 1. Статистические параметры химических элементов в солевых отложениях питьевых вод Южного Казахстана (N=74)

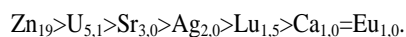
Table 1. Statistical parameters of chemical elements in salt deposits of drinking water in Southern Kazakhstan (N=74)

Элемент Element	m	σ	G	X_{med}	S	min	max	K_v
Na	506	79	259	296	683	0,02	7074	135
Ca	256434	9156	241924	260964	78769	34906	486439	30
Sc	0,2	0,03	0,07	0,08	0,26	0,004	1,7	151
Cr	13,3	3,1	3,5	3,2	27	0,14	204	206
Fe	10109	3965	700	1439	34108	0,04	244247	337
Co	26	8,3	6,7	2,8	71	0,004	424	270
Zn	1677	624	337	316	5369	3,34	45430	320
As	3,9	0,7	2,1	2,5	6,5	0,06	54,3	168
Br	2,4	0,3	1,3	1,3	2,7	0,03	12,8	113
Rb	1,2	0,18	0,55	0,5	1,6	0,05	7,8	140
Sr	4855	374	3075	4634	3217	30	15911	66
Ag	1,45	0,9	0,1	0,15	8,2	0,001	69	567
Sb	1,2	0,7	0,06	0,04	6,3	0,001	41	528
Cs	0,04	0,008	0,01	0,008	0,06	0,0001	0,3	166
Ba	157	18	83	124	160	8	800	102
La	1,2	0,3	0,35	0,4	2,7	0,01	20	220
Ce	4,3	0,58	1,48	2,04	8,0	0,2	15,4	187
Nd	3,8	0,4	1,29	3,4	3,8	0,001	25	101
Sm	0,14	0,01	0,05	0,11	0,14	0,005	0,87	101
Eu	0,02	0,003	0,007	0,008	0,02	0,0003	0,16	157
Tb	0,01	0,003	0,006	0,005	0,02	0,0001	0,17	172
Yb	0,04	0,007	0,01	0,01	0,06	0,0001	0,28	161
Lu	0,03	0,004	0,01	0,03	0,03	0,0001	0,24	103
Hf	0,12	0,03	0,03	0,02	0,29	0,0001	2,3	255
Ta	0,09	0,04	0,005	0,005	0,38	0,0001	2,8	413
Au	0,01	0,002	0,002	0,002	0,02	0,0001	0,13	245
Th	0,2	0,05	0,03	0,04	0,5	0,0003	3,4	265
U	28	2,5	17	23	22	0,11	135	79

Примечание: m – среднее, σ – стандартная ошибка среднего, G – геометрическое среднее, X_{med} – медиана, S – стандартное отклонение, min – минимум, max – максимум, K_v – коэффициент вариации.

Note: m is the mean, σ is the standard error of mean, G is geometric mean, X_{med} is the median, S is the standard deviation, min – minimum, max – maximum, K_v is the coefficient of variation.

Наличие перечисленных элементов говорит о металлогенической особенности недр территории Южного Казахстана, что также подтверждается высокими показателями коэффициента концентрации некоторых химических элементов относительно солевых образований пресной воды озера Байкал. На основе данных коэффициента концентрации был построен геохимический ассоциативный ряд концентрации элементов-индикаторов в солевых отложениях питьевых вод территории Южного Казахстана, который имеет следующий вид:



Региональной особенностью изученной территории исследования является содержание цинка, урана, стронция, серебра в солевых отложениях питьевых вод.

Геохимической особенностью накипи Южного Казахстана является низкое значение торий-уранового отношения (0,007), что подтверждает влияние урановых месторождений на формирование пресных вод, используемых в питьевом водоснабжении.

Высокий уровень содержания халькофильных и литофильных элементов характерен для глинистых пород, преобладающих на территории Южного Казахстана [47, 48].

Для выявления особенностей химического состава солевых отложений питьевых вод Южного Казахстана

нами были проанализированы природные образования – травертины (рис. 2).

В травертинах Памукале (Турция) содержание почти всех химических элементов, кроме кальция, ниже, чем в накипи питьевых вод Южного Казахстана. Отмечается небольшая разница в содержании таких элементов, как натрий, серебро, цезий, золото. В травертинах из г. Томска выделяется высокое содержание брома.

В составе накипи Южного Казахстана наблюдаются высокие концентрации редкоземельных и радиоактивных элементов, вероятно, это связано с тем, что воды изучаемой территории сосредоточены в основном в верхних водоносных горизонтах, данная особенность также отмечается в работе Л.П. Рихванова [49].

В качестве источников поступления повышенных концентраций урана могут выступать урановые месторождения с редкоземельным оруднением (Инкай, Буденновское, Хорасан, Мынкудук) в мелпалеогеновых горизонтах [50].

Для исследования взаимосвязи между химическими элементами были проанализированы коэффициенты парной корреляции. Результаты корреляционного анализа показали положительные связи между элементами Ce-La, Ce-Nd (0,8) и отрицательную связь между элементами Ba-U, Sr-Co (-0,39).

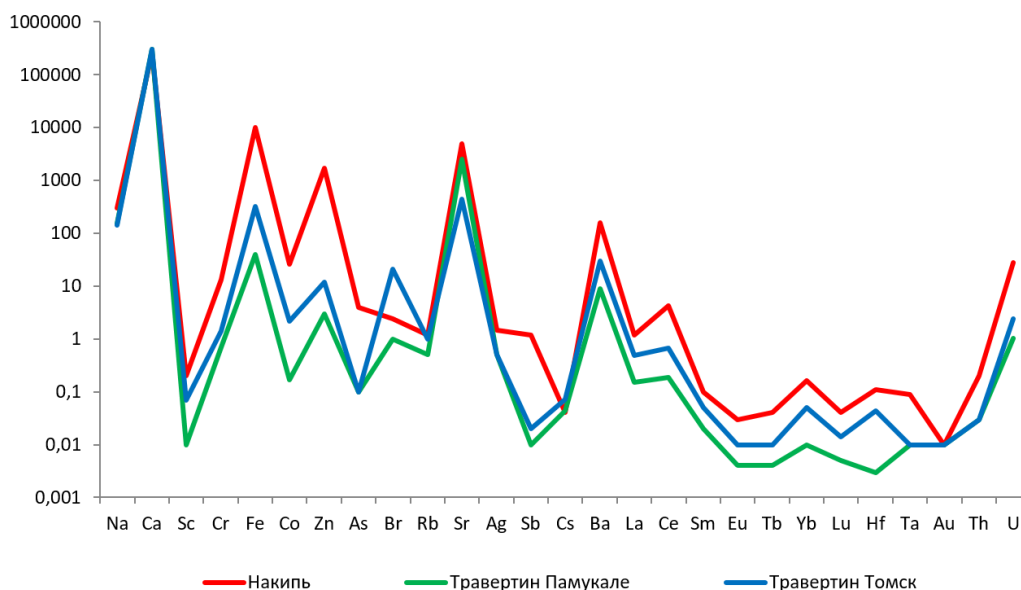


Рис. 2. Сравнительный анализ химического состава накипи территории Южного Казахстана и природных известковых образований

Fig. 2. Comparative analysis of the chemical composition of scale in the territory of Southern Kazakhstan and natural calcareous formations

Из особенностей корреляционных связей можно отметить положительные связи тория почти со всеми элементами кроме стронция; отрицательные связи стронция с большим числом химических элементов,

значимые отрицательные связи между парами Sr-Au (-0,3), Sr-Th (-0,27); положительные связи кальция с барием, церием и неодимом.

Таблица 2. Связи химических элементов в солевых отложениях питьевых вод Южного Казахстана

Table 2. Relationships of chemical elements in salt deposits of drinking waters of Southern Kazakhstan

Na	Ca	Sc	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Ag	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au	Th	U			
1	0,04	0,42	0,52	0,66	0,34	0,64	0,45	0,22	0,11	0,03	0,08	0,50	0,15	0,20	0,24	0,29	0,15	0,34	0,07	0,26	0,49	0,17	0,36	0,30	0,17	0,52	0,20	Na	
	1	0,12	0,13	0,18	0,22	0,05	0,07	0,29	0,00	0,31	0,19	0,13	0,16	0,39	0,08	0,30	0,38	0,02	0,05	0,02	0,01	0,00	0,06	0,04	0,04	0,08	0,15	Ca	
		1	0,40	0,56	0,31	0,39	0,30	0,44	0,02	0,08	0,09	0,25	0,50	0,10	0,02	0,13	0,21	0,60	0,04	0,56	0,38	0,69	0,04	0,14	0,62	0,21	Sc		
			1	0,56	0,34	0,31	0,25	0,13	0,18	0,01	0,17	0,29	0,21	0,13	0,08	0,09	0,08	0,38	0,18	0,07	0,43	0,16	0,30	0,27	0,07	0,38	0,09	Cr	
				1	0,44	0,53	0,43	0,25	0,04	0,02	0,07	0,14	0,40	0,33	0,13	0,09	0,09	0,02	0,36	0,21	0,16	0,38	0,30	0,52	0,26	0,05	0,44	Fe	
					1	0,22	0,25	0,04	0,02	0,39	0,00	0,24	0,12	0,17	0,09	0,05	0,24	0,03	0,18	0,03	0,18	0,30	0,33	0,12	0,09	0,30	0,20	Co	
						1	0,44	0,43	0,23	0,16	0,20	0,55	0,29	0,26	0,34	0,40	0,24	0,36	0,08	0,30	0,52	0,05	0,41	0,36	0,17	0,57	0,19	Zn	
							1	0,31	0,19	0,00	0,23	0,34	0,25	0,19	0,07	0,18	0,10	0,28	0,01	0,07	0,38	0,10	0,26	0,24	0,00	0,43	0,23	As	
								1	0,03	0,05	0,17	0,39	0,23	0,14	0,02	0,11	0,08	0,30	0,18	0,00	0,33	0,20	0,44	0,08	0,10	0,40	0,09	Br	
									1	0,02	0,10	0,27	0,30	0,00	0,36	0,43	0,36	0,44	0,06	0,30	0,27	0,37	0,06	0,27	0,20	0,30	0,04	Rb	
										1	0,02	0,17	0,07	0,16	0,15	0,05	0,30	0,10	0,10	0,09	0,24	0,06	0,15	0,20	0,30	0,27	0,42	Sr	
											1	0,32	0,03	0,01	0,22	0,29	0,27	0,31	0,20	0,20	0,23	0,19	0,18	0,32	0,09	0,19	0,16	Ag	
												1	0,28	0,20	0,55	0,55	0,44	0,55	0,10	0,34	0,57	0,22	0,47	0,64	0,25	0,67	0,00	Sb	
													1	0,20	0,27	0,25	0,15	0,47	0,45	0,14	0,40	0,12	0,30	0,15	0,30	0,53	0,09	Cs	
														1	0,42	0,49	0,35	0,13	0,35	0,23	0,24	0,05	0,22	0,09	0,03	0,37	0,39	Ba	
															1	0,84	0,61	0,33	0,21	0,51	0,52	0,36	0,37	0,53	0,14	0,55	0,03	La	
																1	0,85	0,39	0,08	0,56	0,43	0,55	0,25	0,53	0,07	0,51	0,06	Ce	
																	1	0,38	0,11	0,54	0,18	0,61	0,11	0,47	0,01	0,34	0,24	Nd	
																		1	0,05	0,34	0,47	0,32	0,43	0,38	0,39	0,56	0,22	Sm	
																			1	0,06	0,36	0,26	0,44	0,05	0,14	0,31	0,12	Eu	
																				1	0,34	0,39	0,17	0,35	0,02	0,37	0,09	Tb	
																					1	0,12	0,67	0,40	0,28	0,74	0,08	Yb	
																						1	0,13	0,39	0,26	0,20	0,19	Lu	
																							1	0,29	0,22	0,68	0,03	Hf	
																								1	0,12	0,56	0,01	Ta	
																									1	0,30	0,15	Au	
																										1	0,15	0,15	Th
																											1	U	

Примечание: значимые корреляционные связи выделены полужирным шрифтом – на уровне вероятности 95 %, красным шрифтом выделены отрицательные связи.

Note: significant correlations are highlighted in bold – at the 95 % probability level, negative correlations are highlighted in red

Возможно, на формирование ассоциации кальций–барий влияют месторождения баритовых руд. Так, например, в составе руд Бадамского месторождения в Туркестанской области выявлены кварц, барит, флюорит. Корреляционная связь кальция с церием и неодимом, вероятнее всего, связана с фосфатными урановыми месторождениями с повышенным содер-

жанием редких земель (месторождения Акдала, Бала-саускандык).

Наблюдаются положительные корреляционные связи между элементами группы железа (кобальт, цинк, хром, мышьяк, сурьма), что подтверждается возможным влиянием месторождения железных руд в Туркестанской области (месторождение Абаил).

Имеются положительные корреляционные связи между макро- и микроэлементами на уровне значимости 0,2–0,6 с вероятностью 95 %, что также говорит о возможном вкладе геологической составляющей изучаемого района исследования.

Для понимания характера накопления химических элементов и формируемых ими ассоциаций нами был проведен кластерный анализ (рис. 3), который пока-

зал следующие значимые ассоциации химических элементов: 1 – U, Nd, Ce, La; 2 – Ba, Co; 3 – Th, Hf, Ta, Fe, Sb, Sc; 4 – Lu, As, Zn, Cr; 5 – Sr, Ca; 6 – Tb, Eu; 7 – Sm, Br; 8 – Yb, Cs, Rb, Na.

Для выявления региональной геохимической специфики нами были рассмотрены коэффициенты концентрации медианного значения по региону (рис. 4).

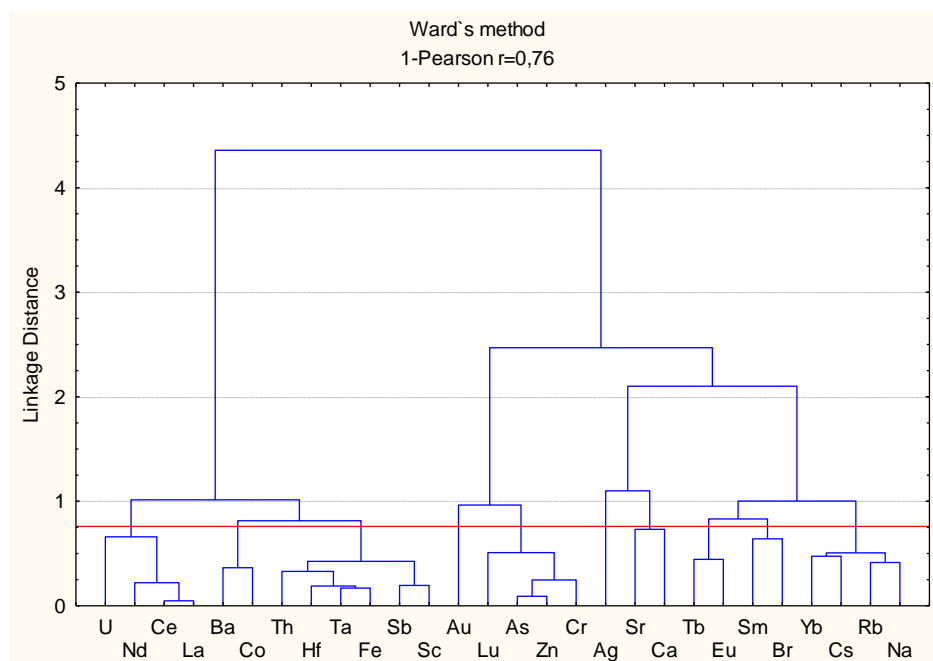


Рис. 3. Дендрограмма корреляционной матрицы геохимического спектра элементов в солевых отложениях питьевых вод территории Южного Казахстана ($r_{0,05}=0,76$)

Fig. 3. Dendrogram of the correlation matrix of the geochemical spectrum of elements in salt deposits of drinking water in the territory of Southern Kazakhstan ($r_{0,05}=0,76$)

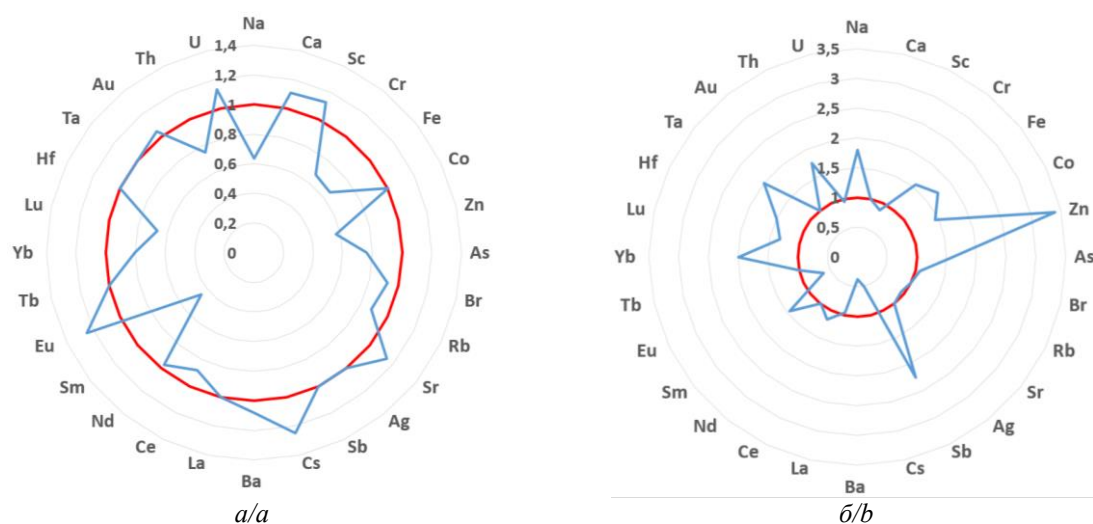


Рис. 4. Коэффициенты концентрации химических элементов в солевых отложениях питьевых вод Туркестанской (а) и Кызылординской (б) областей относительно регионального среднего

Fig. 4. Concentration coefficients of chemical elements in salt deposits of drinking waters of Turkistan (a) and Kyzylorda (b) regions relative to the regional average

Видно, что две близлежащие области значительно различаются в концентрировании химических элементов в накипи. Геохимическая специфика солевых образо-

ваний Кызылординской области отражается в концентрировании более широкого спектра химических элементов. Так, для Кызылординской области, в от-

личие от Туркестанской, характерно концентрирование таких элементов, как цинк, сурьма, иттербий, тантал, натрий, торий, железо, мышьяк, хром, самарий, гафний более значимо. В то же время можно увидеть, что выявляется общий спектр элементов, характерный для двух областей. К ним относятся такие элементы, как: кальций, золото, кобальт, серебро, сурьма, тербий, гафний, тантал.

Установлена высокая концентрация цинка, которая может поступать в водные объекты как естественным, так и техногенным путем. Цинк может попадать в природные воды в результате процессов разрушения и растворения горных пород. Так, например, в г. Туркестане, расположенном в 70 км от Ачисайского месторождения, наблюдается высокое содержание цинка в солевых отложениях – 3821 мг/кг, что выше его ПДК для питьевых вод. Значительное количество цинка попадает в водные объекты в результате техногенного воздействия: со сточными водами рудообогатительных фабрик и хвостохранилищ; применение минеральных удобрений и пестицидов впоследствии сопровождается их выносом с поверхностным и дренажным стоком и влияет на качество воды в бассейне реки Сырдарья. К примеру, в поселках, расположенных в непосредственной близости к Аральскому морю, концентрация цинка в солевых отложениях питьевых вод максимальна – 45430 мг/кг.

Специфика формирования геохимической составляющей в солевых образованиях питьевых вод хорошо демонстрируют геохимические ряды, составленные относительно регионального среднего.

Таблица 3. Геохимическая специализация солевых образований питьевых вод изученных районов относительно регионального среднего

Table 3. Geochemical specialization of salt formations of drinking water in the studied areas relative to the regional average

Регион/Region	Геохимический ряд/Geochemical series
Туркестанская область Turkestan region	$CS_{1,3}=Eu_{1,3}>U_{1,13}>Ca_{1,1}=Sc_{1,1}=$ $Sr_{1,1}>Ba_{1,08}>Au_{1,05}>Co_{1,0}=Ag_{1,0}=Sb_{1,0}=$ $La_{1,0}=Tb_{1,0}=Hf_{1,0}=Ta_{1,0}$
Кызылординская область Kyzylorda region	$Zn_{3,4}>Sb_{2,3}>Yb_{2,0}=Ta_{2,0}>Na_{1,8}=Th_{1,8}>Fe_{1,7}>$ $As_{1,6}>Cr_{1,5}=Sm_{1,5}=Hf_{1,5}>Co_{1,4}>Lu_{1,3}>Ce_{1,2}>$ $Br_{1,07}>Ca_{1,0}=Rb_{1,0}=Ag_{1,0}=Tb_{1,0}=Au_{1,0}$

Красным цветом выделены элементы, имеющие общую специфику накопления в обеих областях.

Элементная специфика накипи питьевых вод в Туркестанской и Кызылординской областях при нормировании относительно накипи из воды озера Байкал имеет схожий вид (табл. 4). Общими для двух регионов являются элементы Zn, U, Sr, Ag, Lu, Ca. Для Кызылординской области отмечается наличие в геохимическом ряду Fe и Sm. Общая геохимическая ха-

рактеристика двух регионов может объясняться наличием однотипных источников их поступления.

Таблица 4. Геохимическая специализация солевых образований питьевых вод изученных районов относительно накипи из воды озера Байкал

Table 4. Geochemical specialization of salt formations in the drinking waters of the studied areas relative to scale from the water of Lake Baikal

Регион Region	Геохимический ряд Geochemical series
Туркестанская область Turkestan region	$Zn_{11,1}>U_{6,0}>Sr_{3,2}>Ag_{2,14}>Eu_{1,3}>$ $Lu_{1,13}>Ca_{1,02}$
Кызылординская область Kyzylorda region	$Zn_{66,8}>U_{5,0}>Sr_{2,7}>Ag_{2,1}>Lu_{2,0}>$ $Ca_{1,8}>Fe_{1,7}>Sm_{1,06}$

Проведенный анализ показал, что солевые отложения питьевых вод Туркестанской и Кызылординской областей имеют высокую концентрацию цинка, урана, стронция и серебра, что обусловлено как геологической составляющей региона, так и техногенной деятельностью.

Заключение

В результате проведенного исследования получены данные по 28 химическим элементам, изученным методом ИНАА, в солевых отложениях питьевых вод территории Южного Казахстана.

В целом изучение элементного состава солевых отложений питьевых вод на территории двух областей Южного Казахстана позволили установить ориентировочные данные по содержанию химических элементов, которые могут быть применимы при последующих эколого-геохимических исследованиях. Полученные результаты свидетельствуют о неравномерном распределении элементов в солевых образованиях питьевых вод исследуемой территории. Определена региональная специфика солевых отложений питьевых вод на территории Туркестанской и Кызылординской областей.

Повышенные концентрации радиоактивных и редкоземельных элементов в накипи питьевых вод согласуются со спецификой распространения урановых месторождений, а также особенностями водовмещающих пород. Геохимическая особенность накипи отражает химический состав воды, исходя из которой можно судить о качестве воды для изучаемой территории.

Таким образом, солевые образования питьевых вод можно использовать как индикатор загрязнения исследуемой территории и для геохимического районирования.

Статья подготовлена при поддержке гранта РНФ номер 20-64-47021.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента Республики Казахстан от 18 декабря 2012 года № 449 «О мерах по реализации Послания Главы государства народу Казахстана от 14 декабря 2012 года «Стратегия «Казахстан-2050»: новый политический курс состоявшегося государства». URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31312028 (дата обращения 09.05.2022)
2. Environmental effects of using large rivers for irrigation in the Kazakhstan – Syr Darya case study / Z. Mustafayev, J. Mosiej, K.S. Abdyvalieva, A. Kozykееva // Journal of Water and Land Development. – 2020. – V. 47. – P. 125–134.
3. Water availability and state of water resources within water-economic basins in Kazakhstan / G. Issanova, R. Jilili, J. Abuduwaili, A. Kaldybayev, G. Saparov, G. Yongxiao // Paddy and Water Environment. – 2018. – V. 16. – P. 183–191.

4. Бурлибаев М.Ж., Достай Ж.Д., Турсунов А.А. Арало-Сырдарьинский бассейн (Гидроэкологические проблемы, вопросы водоотделения). – Алматы: Дәуір, 2001. – 180 с.
5. Новикова Н.М. Эколого-географический аспект Аральского кризиса. Часть 1. Развитие Аральской проблемы, ее изучение, оценка и разработка мероприятий // Экосистемы: Экология и динамика. – 2019. – Т. 3. – № 1. – С. 5–66.
6. The fluctuating Aral Sea: a multidisciplinary-based history of the last two thousand years / S.K. Krivonogov, G.S. Burr, Y.V. Kuzmin, S.A. Gusskov, R.K. Kurmanbaev, T.I. Kenshinbay, D.A. Voyakin // *Gondwana Research*. – 2014. – V. 26. – P. 284–300.
7. Гидрогеохимические аспекты формирования природно-техногенной системы в низовьях реки Сырдарья в условиях антропогенной деятельности / Ж.С. Мустафаев, А.Т. Козыкеева Ж.Е., Ескермесов, Н.М. Кусмуханбетов // *Гидрометеорология и экология*. – 2014. – № 1. – С. 103–115.
8. Смоляр В.А., Сапаралиев Д.С., Ким Д.В. Комплексное и рациональное использование поверхностных и подземных вод – основа водной безопасности Республики Казахстан // *Геология и охрана недр*. – 2020. – Т. 74. – № 1. – С. 59–71
9. Гидрология СССР. Т. XXXVI. Южный Казахстан. – М.: Изд-во «Недра», 1970. – 473 с.
10. Data on nitrate-nitrite pollution in the groundwater resources a Sonqor plain in Iran / D. Jalili, M. RadFard, H. Soleimani, S. Nabavi, H. Akbari, A. Kavosi, A. Abasnia, A. Adibzadeh // *Data in Brief*. – 2018. – V. 20. – P. 394–401.
11. Heavy metal (loid) s in the groundwater of Shabestar area (NW Iran): source identification and health risk assessment / R. Barzegar, A.A. Moghaddam, S. Soltani, E. Fijani, E. Tziritis, N. Kazemian // *Exposure and Health*. – 2019. – V. 11. – P. 251–265.
12. Distributions and origins of nitrate, nitrite, and ammonium in various aquifers in an urbanized coastal area, south China / M. Zhang, G. Huang, C. Liu, Y. Zhang, Z. Chen, J. Wang // *Journal of Hydrology*. – 2020. – V. 582. – 124528.
13. Pollution with trace elements and rare-earth metals in the lower course of Syr Darya River and Small Aral Sea, Kazakhstan / P. Rzymiski, P. Klimaszuk, P. Niedzielski, W. Marszelewski, D. Borowiak, K. Nowinski, A. Baikenzheyeva, R. Kurmanbayev, N. Aladin // *Chemosphere*. – 2019. – V. 234. – P. 81–88.
14. Status and management of arsenic pollution in groundwater: a comprehensive appraisal of recent global scenario, human health impacts, sustainable field-scale treatment technologies / M.K. Yadav, D. Saidulu, A.K. Gupta, P.S. Ghosal, A. Mukherjee // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2021. – V. 9. – 105203.
15. Efficacy of agricultural waste derived biochar for arsenic removal: tackling water quality in the Indo-Gangetic plain / S. Mukherjee, A.K. Thakur, R. Goswami, P. Mazumder, K. Taki, M. Vithanage, M. Kumar // *Journal of Environmental Management*. – 2021. – V. 281. – 111814.
16. Assessment of arsenic status and distribution in Usangu agroecosystem-Tanzania / M. Mng'ong'o, S. Comber, L.K. Munishi, W. Blake, P.A. Ndakidemi, T.H. Hutchinson // *Journal of Environmental Management*. – 2021. – V. 294. – 113012.
17. Tokatli C., Varol M. Variations, health risks, pollution status and possible sources of dissolved toxic metal(loid)s in stagnant water bodies located in an intensive agricultural region of Turkey // *Environmental Research*. – 2021. – V. 201. – 111571.
18. Mobilization and health risk assessment of fertilizer induced uranium in coastal groundwater / M. Mathivanan, C. Sabarathinam, M.P. Viswanathan, V. Senapathi, D. Nadesan, G.G. Indrani, G. Malaimedu, S.S. Kumar // *Environmental Research*. – 2022. – V. 203. – 111791.
19. Winde F., Erasmus E., Geipel G. Uranium contaminated drinking water linked to leukaemia – revisiting a case study from South Africa taking alternative exposure pathways into account // *Science of the Total Environment*. – 2017. – V. 574. – P. 400–421.
20. Duggal V., Sharma S., Singh A. Toxicological risk and age-dependent radiation dose assessment of uranium in drinking water in southwest-central districts of Haryana State, India // *Groundwater for Sustainable Development*. – 2021. – V. 13. – 100577.
21. Индикаторные показатели состояния экосистем в элементном составе жителей районов Северного Казахстана / Г.Е. Байкенова, Н.В. Барановская, А.А. Какабаев, Р.И. Берсимбаев, Н.П. Корогод, Д.В. Наркович, В.В. Куровская // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2021. – Т. 332. – № 7. – С. 148–158.
22. Comparison of strontium isotope ratios in Mexican human hair and tap water as provenance indicators / S.T.M. Ammer, L.M. Kootker, E.J. Bartelink, V.E. Anderson, E. Cunha, G.R. Davies // *Forensic Science International*. – 2020. – V. 314. – 110422.
23. Язиков Е.Г., Барановская Н.В., Рихванов Л.П. Использование солевых образований (накипи) для целей геохимического районирования территорий // *Современные проблемы геохимии, геологии и поисков месторождений полезных ископаемых: материалы международной конференции, посвященной 100-летию академика К.Л. Лукашева*. – Минск: ИЦ БГУ, 2007. – С. 252–254.
24. Соктоев Б.Р. Геохимия карбонатной составляющей природных пресных вод и её индикаторное значение в эколого-геохимических и прогнозно-металлогенетических исследованиях (на примере Байкальского региона): автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2015. – 22 с.
25. Геохимическая специализация осадков (накипей) водных источников на примере двух регионов Сибири / А.Э. Тапхаева, Т.Т. Тайсаев, Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Н.В. Барановская // *Сибирский экологический журнал*. – 2010. – Т. 17. – № 4. – С. 685–696.
26. Соктоев Б.Р., Рихванов Л.П. Карбонатообразование в бытовых условиях: особенности минералогии и геохимии // *Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий, рациональное природопользование. Современное минералообразование*. – Чита: Забайкальский государственный университет, 2018. – С. 237–240.
27. Соктоев Б.Р., Фархутдинов И.М., Рихванов Л.П. Антропогенные карбонаты как индикатор техногенного воздействия на гидросферу (на примере хвостохранилищ горнодобывающих предприятий) // *Сборник материалов Девятой Российской молодежной научно-практической Школы с международным участием*. – М., 2019. – С. 372–374.
28. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения / Л.П. Рихванов, Е.Г. Язиков, Ю.И. Сухих, Н.В. Барановская, В.Т. Волков, Н.Н. Волкова, В.В. Архангельский, Т.А. Архангельская, О.А. Денисова, А.Ю. Шатилов, Е.П. Янкович / под ред. А.Г. Бакирова. – Томск: Изд-во «Курсив», 2006. – 216 с.
29. Соктоев Б.Р., Рихванов Л.П. Элементный состав солевых отложений природных пресных вод: возможности применения в эколого-геохимических исследованиях // *Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий*. – 2016. – № 11. – С. 247–249.
30. Earth's chondritic Th/U: negligible fractionation during accretion, core formation, and crust-mantle differentiation / S.A. Wipperfurth, M. Guo, O. Sramek, W.F. McDonough // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2018. – V. 498. – P. 196–202.
31. Influences of geological factors on the distribution of uranium in drinking water limescale in the junction zone of the East European Platform and the Southern Urals / I. Farkhutdinov, B. Soktoev, A. Zlobina, A. Farkhutdinov, C. Zhang, E. Chesalova, L. Belan, I. Volfson // *Chemosphere*. – 2021. – V. 282. – 131106
32. Geochemistry of radioactive elements (U, Th) in coal and peat of northern Asia (Siberia, Russian Far East, Kazakhstan, and Mongolia) / S.I. Arbuzov, A.V. Volostnov, L.P. Rikhvanov, A.M. Mezhibor, S.S. Ilenok // *International Journal of Coal Geology*. – 2011. – V. 86. – P. 318–328.
33. Редкоземельные и радиоактивные (Th, U) элементы в компонентах природной среды на территории Томской области / Н.В. Барановская, Е.В. Агеева, Б.Р. Соктоев, Д.В. Наркович, О.А. Денисова, Т.В. Матковская // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2020. – Т. 331. – № 2. – С. 17–28.
34. Влияние геологических факторов на распределение урана и тория в солевых отложениях питьевых вод (Республика Башкортостан) / И.М. Фархутдинов, Б.Р. Соктоев, Л.П. Рихванов, А.М. Фархутдинов, А.Н. Злобина, Р.А. Исмагилова, В.Н. Никонов, Л.Н. Белан // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2020. – Т. 331. – № 4. – С. 16–27.

35. Spatio-temporal variations of Uranium in groundwater: implication to the environment and human health / N. Devaraj, B. Panda, S. Chidambaram, M.V. Prasanna, D.K. Singh, A.L. Ramanathan, S.K. Sahoo // *Science of The Total Environment*. – 2021. – V. 775. – 145787.
36. Uranium and thorium leachability in contaminated stream sediments from a uranium minesite / J. Wang, J. Liu, H. Li, Y. Chen, T. Xiao, G. Song, D. Chen, C. Wang // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2017. – V. 176. – P. 85–90.
37. Барановская Н.В., Игнатова Т.Н., Рихванов Л.П. Уран и торий в органах и тканях человека // *Вестник Томского государственного университета*. – 2010. – № 339. – С. 182–188.
38. A systematic study of uranium retention in human organs and quantification of radiological and chemical doses from uranium ingestion / P. Bangotra, M. Sharma, R. Mehra, R. Jakhu, A. Singh, A.S. Gautam, S. Gautam // *Environmental Technology and Innovation*. – 2021. – V. 21. – 101360.
39. Distribution of radionuclides in natural waters of Northern Kazakhstan and assessment of waterborne doses irradiation of population / N.S. Salikova, Z.O. Tleuova, A.S. Kurmanbayeva, R.K. Khussainova, A.A. Kakabayev // *Periodico Tche Quimica*. – 2020. – V.17. – P. 1016–1037.
40. Levels of uranium and thorium in maternal scalp hair and risk of orofacial clefts in offspring / Y. Wei, L. Jin, Z. Li, J. Liu, L. Wang, X. Pi, S. Yin, C. Wang, A. Ren // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2019. – V. 204. – P. 125–131.
41. Способ определения участков загрязнения ураном окружающей среды: пат. 2298212 Рос. Федерация, № 2005120840; заявл. 04.07.05; опубл. 27.04.07. Бюл. № 12. – 6 с.
42. Леонова А.В. Основы гидрогеологии и инженерной геологии. – Томск: ТПУ, 2013. – 148 с.
43. Монголина Т.А. Геохимические особенности солевых отложений (накипи) питьевых вод как индикатора природно-техногенного состояния территории: автореф. дис. ...канд. геол.-минерал. наук. – Томск, 2011. – 22 с.
44. Геохимическая характеристика солевых отложений питьевых вод Байкальского региона / Б.Р. Соктоев, Л.П. Рихванов, Т.Т. Тайсаев, Н.В. Барановская // *Известия Томского политехнического университета*. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 209–223.
45. Арынова Ш.Ж., Рихванов Л.П. Эколого-геохимическая оценка территории Павлодарской области (Республика Казахстан) по данным изучения элементного состава солевых отложений питьевых вод // *Вестник Забайкальского государственного университета*. – 2015. – № 12. – С. 4–10.
46. Робертус Ю.В., Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р. Особенности химического состава солевых отложений подземных питьевых вод Республики Алтай // *Известия Томского политехнического университета*. – 2014. – Т. 324. – № 1. – С. 190–195.
47. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами / Б.А. Ревич, Ю.Е. Саг, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 112 с.
48. Пономаренко В.В. Фациальные условия накопления отложений медистых песчаников Чу-Сарысуйской впадины (Южный Казахстан) // *Вестник Воронежского государственного университета*. – 2015. – № 3. – С. 22–26.
49. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиэкологии. – Томск: ТПУ, 1997. – 384 с.
50. Черняков В.М. Современное состояние сырьевой базы природного урана в Казахстане и пути ее совершенствования // *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV международной конференции*. – Томск: ТПУ, 2013. – С. 554–559.

Поступила 22.06.2022 г.

Информация об авторах

Шарипова Б.У., магистр экологии, преподаватель кафедры биологии и методики преподавания Кокшетауского университета им. Ш. Уалиханова.

Какабаев А.А., кандидат биологических наук, ассоциированный профессор кафедры горного дела, строительства и экологии, советник ректора по международной интеграции Кокшетауского университета им. Ш. Уалиханова.

Барановская Н.В., доктор биологических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Арынова Ш.Ж., доктор PhD, ассоциированный профессор, НАО «Торайгыров университет».

Корогод Н.П., кандидат биологических наук, доцент кафедры общей биологии Павлодарского педагогического университета.

UDC 574.2:550.47

GEOCHEMICAL FEATURES OF SALT FORMATIONS OF DRINKING WATER IN SOUTHERN KAZAKHSTAN

Botagoz U. Sharipova¹,
oralovna82@mail.ru

Anuarbek A. Kakabayev¹,
anuarka@mail.ru

Natalia V. Baranovskaya²,
nata@tpu.ru

Shynar Zh. Arynova³,
shinar_uzh@mail.ru

Natalya P. Korogod⁴,
natalya_korogod@mail.ru

¹ Sh. Ualikhanov Kokshetau University,
76, Abay street, Kokshetau, 020000, Republic of Kazakhstan.

² National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

³ Toraighyrov University,
64, Lomov street, Pavlodar, 140000, Republic of Kazakhstan.

⁴ Pavlodar Pedagogical University,
60, Mira street, Pavlodar, 140002, Republic of Kazakhstan.

The relevance of the work. Due to the unfavorable ecological situation in the territory of Southern Kazakhstan, there is a need to obtain data on natural and natural-anthropogenic geochemical processes occurring in the conditions of urbanization and industrial development, including uranium mining. To assess the changes in the ecological and geochemical state of the territory, the elemental composition of salt formations of drinking water was used, since this component of the ecosystem proved itself to be a reliable indicator of environmental pollution.

The aim of the research was to study the features of the elemental composition of salt deposits of drinking water in the territory of Southern Kazakhstan.

Methods: instrumental neutron activation analysis.

Results. Chemical elements in salt formations of fresh drinking waters of Southern Kazakhstan (Kyzylorda and Turkestan regions) were analyzed. The authors identified the leading group of elements in the scale of drinking waters of the studied area – Na, Ca, Fe (structure-forming), Zn, Sr, Ba (isomorphic substitution in the structure of calcium carbonate). An inhomogeneous distribution of almost all the studied elements is observed, with the exception of Ca. The regional specificity of Southern Kazakhstan is the presence of Zn, U, Sr, Ag in anthropogenic carbonates. The increased content of U and TR is associated with the distribution of bed-infiltration types of uranium deposits with rare-earth mineralization in the Cretaceous and Paleogene horizons of the Shu-Sarysu and Syrdarya provinces. The authors identified specific elements in the salt formations of drinking water for the Turkestan region (Cs, Eu, U, Ca, Sc, Sr, Ba, Au, Co, Ag, Sb, La, Tb, Hf, Ta) and the Kyzylorda region (Zn, Sb, Yb, Ta, Na, Th, Fe, As, Cr, Sm, Hf, Co, Lu, Ce, Br, Ca, Rb, Ag, Tb, Au).

Key words:

Chemical elements, salt deposits, technogenesis, Southern Kazakhstan, drinking water, uranium deposits.

The research was supported by the grant of the RSF no. 20-64-47021.

REFERENCES

1. Ukaz Prezidenta Respubliki Kazakhstan ot 18 dekabrya 2012 goda № 449 «O merakh po realizatsii Poslaniya Glavy gosudarstva narodu Kazakhstana ot 14 dekabrya 2012 goda «Startegiya «Kazakhstan-2050»: novy politichesky kurs sostoyavshegosya gosudarstva» [Decree of the President of the Republic of Kazakhstan dated December 18, 2012 No. 449 «On measures to implement the Address of the Head of State to the people of Kazakhstan dated December 14, 2012 «Strategy «Kazakhstan-2050»: a new political course of the established state»]. Available at: https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=31312028 (accessed 9 May 2022).
2. Mustafayev Z., Mosiej J., Abdyvalieva K.S., Kozykeeva A. Environmental effects of using large rivers for irrigation in the Kazakhstan – Syr Darya case study. *Journal of Water and Land Development*, 2020, vol. 47, pp. 125–134.
3. Issanova G., Jilili R., Abuduwaili J., Kaldybayev A., Saparov G., Yongxiao G. Water availability and state of water resources within water-economic basins in Kazakhstan. *Paddy and Water Environment*, 2018, vol. 16, pp. 183–191.
4. Burlibaev M.Zh., Dostay Zh.D., Tursunov A.A. *Aralo-Syrdarinskiy basseyn (Gidroekologicheskie problemy, voprosy vodotdeleniya)* [Aral-Syrdarya basin (hydroecological problems, water separation issues)]. Almaty, Daur Publ, 2001. 180 p.
5. Novikova N.M. Ecological and geographical aspects of the Aral Sea crisis. P. 1. The development of the Aral Sea problem, its research, evaluation and development activities. *Ecosystems: Ecology and Dynamics*, 2019, vol. 3, no. 1, pp. 5–66. In Rus.

6. Krivonogov S.K., Burr G.S., Kuzmin Y.V., Gusskov S.A., Kurmanbaev R.K., Kenshinbay T.I., Voyakin D.A. The fluctuating Aral Sea: a multidisciplinary-based history of the last two thousand years. *Gondwana Research*, 2014, vol. 26, pp. 284–300.
7. Mustafaev J.S., Kozykееva A.T., Eskermesov Zh.E., Kusmukhanbetov N.M. Gidrogeokhimiicheskie aspekty formirovaniya prirodno tekhnogennoy sistemy v nizovyakh reki Syrdari v usloviyakh antropogennoy deyatelnosti [Hydrogeochemical aspects of the formation of the natural-technogenic system in the lower reaches of the Syrdarya River under the conditions of anthropogenic activity]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2014, no. 1, pp. 103–115.
8. Smolyar V.A., Sapargaliyev D.S., Kim D.V. Comprehensive and rational utilization of surface water and groundwater – the basis of water security of the Republic of Kazakhstan. *Geology and bowels of the Earth*, 2020, vol. 74, no.1, pp. 59–71. In Rus.
9. *Gidrologiya SSSR. T. XXXVI. Yuzhny Kazakhstan* [Hydrology of the USSR. V. XXXVI. South Kazakhstan]. Moscow, Nedra Publ., 1970. 473 p.
10. Jalili D., RadFard M., Soleimani H., Nabavi S., Akbari H., Kavosi A., Abasnia A., Adibzadeh A. Data on Nitrate-Nitrite pollution in the groundwater resources a Sonqor plain in Iran. *Data in Brief*, 2018, vol. 20, pp. 394–401.
11. Barzegar R., Moghaddam A.A., Soltani S., Fijani E., Tziritis E., Kazemian N. Heavy metal (loid) s in the groundwater of Shabestar area (NW Iran): source identification and health risk assessment. *Exposure and Health*, 2019, vol. 11, pp. 251–265.
12. Zhang M., Huang G., Liu C., Zhang Y., Chen Z., Wang J. Distributions and origins of nitrate, nitrite, and ammonium in various aquifers in an urbanized coastal area, south China. *Journal of Hydrology*, 2020, vol. 582, 124528.
13. Rzymyski P., Klimaszuk P., Niedzielski P., Marszelewski W., Borowiak D., Nowinski K., Baikenzheyeva A., Kurmanbayev R., Aladin N. Pollution with trace elements and rare-earth metals in the lower course of Syr Darya River and Small Aral Sea, Kazakhstan. *Chemosphere*, 2019, vol. 234, pp. 81–88.
14. Yadav M.K., Saidulu D., Gupta A.K., Ghosal P.S., Mukherjee A. Status and management of arsenic pollution in groundwater: a comprehensive appraisal of recent global scenario, human health impacts, sustainable field-scale treatment technologies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, 105203.
15. Mukherjee S., Thakur A. K., Goswami R., Mazumder P., Taki K., Vithanage M., Kumar M. Efficacy of agricultural waste derived biochar for arsenic removal: tackling water quality in the Indo-Gangetic plain. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 281, 111814.
16. Mng'ong'o M., Comber S., Munishi L.K., Blake W., Ndakidem P.A., Hutchinson T.H. Assessment of arsenic status and distribution in Usangu agro-ecosystem-Tanzania. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 294, 113012.
17. Tokatli C., Varol M. Variations, health risks, pollution status and possible sources of dissolved toxic metal(loid)s in stagnant water bodies located in an intensive agricultural region of Turkey. *Environmental Research*, 2021, vol. 201, 111571.
18. Mathivanan M., Sabarathinam Ch., Viswanathan P. M., Senapathi V., Nadesan D., Indrani G. G., Malaimegu G., Kumar S.S. Mobilization and health risk assessment of fertilizer induced uranium in coastal groundwater. *Environmental Research*, 2022, vol. 203, 111791.
19. Winde F., Erasmus E., Geipel G. Uranium contaminated drinking water linked to leukaemia – revisiting a case study from South Africa taking alternative exposure pathways into account. *Science of the Total Environment*, 2007, vol. 574, pp. 400–421.
20. Duggal V., Sharma S., Singh A. Toxicological risk and age-dependent radiation dose assessment of uranium in drinking water in southwest-central districts of Haryana State, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 2021, vol. 13, 100577.
21. Baikenova G.E., Baranovskaya N.V., Kakabayev A.A., Bersimbaev R.I., Korogod N.P., Narkovich D.V., Kurovskaya V.V. Indicators of the state of the ecosystems based on the hair compositions of the Northern Kazakhstan residents. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 331, no. 2, pp. 148–158. In Rus.
22. Ammer S.T.M., Kootker L.M., Bartelink E.J., Anderson B.E., Cunha E., Davies G.R. Comparison of strontium isotope ratios in Mexican human hair and tap water as provenance indicators. *Forensic Science International*, 2020, vol. 314, 110422.
23. Yazikov E.G., Baranovskaya N.V., Rikhvanov L.P. Ispolzovanie soleykh obrazovaniy (nakipi) dlya tseley geokhimiicheskogo rayonirovaniya territoriy [Use of salt formations (scale) for the purposes of geochemical zoning of territories]. *Sovremennyye problemy geokhimii, geologii i poiskov mestorozhdeniy poleznykh iskopayemykh. Materialy mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu akademika K.L. Lukasheva* [Modern problems of geochemistry, geology and prospecting for mineral deposits materials of the international. Conference dedicated to the 100th anniversary of academician K.L. Lukashev]. Minsk, BSU Publ., 2007. pp. 252–254.
24. Soktoev B.R. *Geokhimiya karbonatnoy sostavlyayushchey prirodnykh presnykh vod i ee indikatornoye znachenie v ekologo-geokhimiicheskikh i prognozno-metallogenicheskikh issledovaniyakh (na primere Baykalskogo regiona)*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Geochemistry of the carbonate component of natural fresh waters and its indicator value in ecological-geochemical and predictive-metallogenetic studies (on the example of the Baikal region). Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2015. 22 p.
25. Tapkhaeva A.E., Taisaev T.T., Rikhvanov L.P., Yazikov E.G., Baranovskaya N.V. Geochemical Specialization of Sediments (Scums) of Water Sources by the Example of Two Locales of Siberia. *Siberian Journal of Ecology*, 2010, vol. 17, no. 4, pp. 685–696. In Rus.
26. Soktoev B.R., Rikhvanov L.P. Karbonatobrazovanie v bytovykh usloviyakh: osobennosti mineralogii i geokhimii [Carbonate formation in household conditions: mineralogy and geochemistry features]. *Mineralogiya i geokhimiya landshafta gornorudnykh territoriy, ratsionalnoye prirodoopolzovanie. Sovremennoye mineralobrazovanie* [Mineralogy and geochemistry of the landscape of mining areas, rational nature management. Modern mineral formation]. Chita, Transbaikal State University Publ., 2018. pp. 237–240.
27. Soktoev B.R., Farkhutdinov I.M., Rikhvanov L.P. Antropogennyye karbonaty kak indikator tekhnogennoy vozdeystviya na gidrosferu (na primere khvostokhranilishch gomodobyvayushchikh predpriyatiy) [Anthropogenic carbonates as an indicator of anthropogenic impact on the hydrosphere (on the example of tailing dumps of mining enterprises)]. *Sbornik materialov Devyaty Rossyskoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy Shkoly s mezhdunarodnym uchastiyem* [Collection of materials of the Ninth Russian Youth Scientific and Practical School with international participation.]. Moscow, 2019. pp. 372–374.
28. Rikhvanov L.P., Yazikov E.G., Sukhikh Yu.I., Baranovskaya N.V., Volkov V.T., Volkova N.N., Arkhangel'skiy V.V., Arkhange'skaya T.A., Denisova O.A., Shatilov A.Yu., Yankovich E.P. *Ekologo-geokhimiicheskie osobennosti prirodnykh sred Tomskogo rayona i zabolevaemost naseleniya* [Ecological and geochemical features of the natural environment of the Tomsk region and the incidence of the population]. Ed. by A.G. Bakirov. Tomsk, Kursiv Publ., 2006. 216 p.
29. Soktoev B.R., Rikhvanov L.P. Elementnyy sostav soleykh otlozheniy prirodnykh presnykh vod: vozmozhnosti primeneniya v ekologo-geokhimiicheskikh issledovaniyakh [Elemental composition of salt deposits of natural fresh waters: possibilities of application in ecological and geochemical research]. *Geologiya, poleznye iskopayemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredelnykh territoriy*, 2016, no. 11, pp. 247–249.
30. Wipperfurth S.A., Guo M., Sramek O., McDonough W.F. Earth's chondritic Th/U: Negligible fractionation during accretion, core formation, and crust–mantle differentiation. *Earth and Planetary Science Letters*, 2018, vol. 498, pp. 196–202.
31. Farkhutdinov I., Soktoev B., Zlobina A., Farkhutdinov A., Zhang C., Chesalova E., Belan L., Volfson I. Influences of geological factors on the distribution of uranium in drinking water limescale in the junction zone of the East European Platform and the Southern Urals. *Chemosphere*, 2021, vol. 282, 131106.
32. Arbuзов S.I., Volostnov A.V., Rikhvanov L.P., Mezhibor A.M., Ilenok S.S. Geochemistry of radioactive elements (U, Th) in coal and peat of northern Asia (Siberia, Russian Far East, Kazakhstan, and Mongolia). *International Journal of Coal Geology*, 2011, vol. 86, pp. 318–328.

33. Baranovskaya N.V., Ageeva E.V., Soktoev B.R., Narkovich D.V., Denisova O.A., Matkovskaya T.V. Rare Earth and radioactive (Th, U) elements in the components of the environment on the territory of Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, vol. 331, no. 2, pp. 17–28. In Rus.
34. Farkhutdinov I.M., Soktoev B.R., Rikhvanov L.P., Farkhutdinov A.M., Zlobina A.N., Ismagilova R.A., Nikonov V.N., Belan L.N. Influence of geological factors on uranium and thorium distribution in drinking water salt deposits (Republic of Bashkortostan). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2020, vol. 331, no. 4, pp. 16–27. In Rus.
35. Devaraj N., Panda B., Chidambaram S., Prasanna M.V., Singh D.K., Ramanathan A. L., Sahoo S.K. Spatio-temporal variations of Uranium in groundwater: Implication to the environment and human health. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 775, 145787.
36. Wang J., Liu J., Li H., Chen Y., Xiao T., Song G., Chen D., Wang C. Uranium and thorium leachability in contaminated stream sediments from a uranium minesite. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 176, pp. 85–90.
37. Baranovskaya N.V., Ignatova T.N., Rikhvanov L.P. Uran i toriy v organakh i tkanyakh cheloveka [Uranium and thorium in human organs and tissues]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2010, no. 339, pp. 182–188.
38. Bangotra P., Sharma M., Mehrab R., Jakhu R., Singh A., Gautam A.S., Gautam S. A systematic study of uranium retention in human organs and quantification of radiological and chemical doses from uranium ingestion. *Environmental Technology and Innovation*, 2021, vol. 21, 101360.
39. Salikova N.S., Tleuova Z.O., Kurmanbayeva A.S., Khussainova R.K., Kakabayev A.A. Distribution of radionuclides in natural waters of Northern Kazakhstan and assessment of waterborne doses irradiation of population. *Periodico Tche Quimica*, 2020, vol. 17, pp. 1016–1037.
40. Wei Y., Jin L., Li Z., Liu J., Wang L., Pia X., Yin S., Wang C., Ren A. Levels of uranium and thorium in maternal scalp hair and risk of orofacial clefts in offspring. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2019, vol. 204, pp. 125–131.
41. Rikhvanov L.P., Yazikov E.G., Baranovskaya N.V., Yankovich E.P. *Sposob opredeleniya uchastkov zagryazneniya uranom okruzhayushhey sredy* [The way to locate contaminated by uranium areas]. Patent RF, no. 2298212, 2007.
42. Leonova A.V. *Osnovy gidrogeologii i inzhenernoy geologii* [Fundamentals of hydrogeology and engineering geology]. Tomsk, TPU Publ., 2013. 148 p.
43. Mongolina T.A. *Geokhimicheskie osobennosti soleyvykh otlozheniy (nakipi) pityevykh vod kak indikatora prirodno-tekhnogenogo sostoyaniya territorii*. Avtoreferat Dis. Kand. nauk [Geochemical features of salt deposits (scale) of drinking water as an indicator of the natural and technogenic state of the territory. Cand. Diss. Abstract]. Tomsk, 2011. 22 p.
44. Soktoev B.R., Rikhvanov L.P., Taysaev T.T., Baranovskaya N.V. Geochemical characteristics of drinking water salt deposits of Baikal region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 1, pp. 209–223. In Rus.
45. Arynova Sh., Rikhvanov L.P. Ecological and geochemical evaluation of the territory of Pavlodar region (the Republic of Kazakhstan) based on chemical composition analysis of salt deposits in drinking water. *Transbaikal State University Journal*, 2015, vol. 12, no. 127, pp. 4–10. In Rus.
46. Robertus Yu.V., Rikhvanov L.P., Soktoev B.R. Features of chemical composition of salt deposits in underground drinking water of Altai Republic. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2014, vol. 324, no. 1, pp. 190–195. In Rus.
47. Revich B.A., Saet Yu.E., Smirnova R.S., Sorokina E.P. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoy otsenke zagryazneniya territorii gorodov khimicheskimi elementami* [Guidelines for the geochemical assessment of urban pollution by chemical elements]. Moscow, IMGRE Publ., 1982. 112 p.
48. Ponomarenko V. V. Facies conditions buildup copper sandstones Chu Sarysu depression (South Kazakhstan). *Proceedings of Voronezh State University*, 2015, vol. 3, pp. 22–26. In Rus.
49. Rikhvanov L.P. *Obshchie i regionalnye problemy radioekologii* [General and regional problems of radioecology]. Tomsk, TPU Publ., 1997. 384 p.
50. Chernyakov V.M. *Sovremennoe sostoyanie syrevoy bazy prirodnogo urana v Kazakhstane i puti ee usovershenstvovaniya* [Current status of the resource base of natural uranium in Kazakhstan and ways of its improvement]. *Materialy IV mezhdunarodnoy konferentsii. Radioaktivnost i radioaktivnye elementy v srede obitaniya cheloveka* [Proceedings of IV international conference. Radioactivity and radioactive elements in environment]. Tomsk, TPU Publ., 2013. pp. 554–559.

Received: 22 June 2022.

Information about the authors

Botagoz U. Sharipova, master of Ecology, lecturer, Sh. Ualikhanov Kokshetau University.
Anuarbek A. Kakabayev, Cand. Sc., associate professor, Sh. Ualikhanov Kokshetau University.
Natalia V. Baranovskaya, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.
Shynar Zh. Arynova, PhD, associate professor, Toraighyrov University.
Natalya P. Korogod, Cand. Sc., associate professor, Pavlodar Pedagogical University.