

ГИДРОГЕОЛОГИЯ

УДК 502/504

Химический состав родникового стока в районе складирования отходов разработки и обогащения калийных солей**П.А. Белкин**

Пермский государственный национальный исследовательский университет

614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: pashabelkin@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 20 ноября 2019 г.)

Добыча и переработка калийных солей в гумидных регионах неизбежно связаны с нарушением природных гидрохимических условий. С целью описания химического состава подземных вод, разгрузка которых происходит в непосредственной близости от объектов складирования отходов калийного производства, проведены исследования родникового стока, включившие в себя отбор проб и анализ макро- и микрокомпонентного состава восьми родников за 2016 – 2018 гг. Приводится общая характеристика химического состава вод родникового стока, исследованы корреляционные связи между содержанием различных компонентов их состава. Полученные результаты дают возможность выделить ряд химических веществ, определяющих техногенную трансформацию химического состава подземных вод вблизи объектов складирования отходов калийных производств.

Ключевые слова: *подземные воды, месторождение калийных солей, техногенез, трансформация химического состава.*

DOI: 10.17072/psu.geol.19.3.232

Введение

Калийная промышленность является комплексной отраслью хозяйства, объединяющей горнодобывающее и химическое производство. Как горнодобывающее, так и химическое производство характеризуются значительным уровнем воздействия на окружающую среду. Отличительной особенностью солей является их высокая растворимость. Во многом именно в связи с этим техногенное воздействие калийного производства на компоненты природной среды наиболее ярко проявляется во влиянии на приповерхностную гидросферу. Ведущее место в нарушении исходной гидрохимической обстановки большинство исследователей отводит воздействию поверхностных накопителей отходов – шламохранилищ и солеотвалов (Гольдберг, 1984; Мироненко, 1988; Горбунова, 1990; Бельтюков, 2000; Fetisova, 2016 и др.).

Территория исследований

Исследования влияния разработки месторождений калийных солей на химизм приповерхностной гидросферы проведены в центральной части Верхнекамского месторождения солей. Месторождение является уникальным объектом и обладает мировым значением. Оно занимает второе место в мире как по разведанным запасам калийного сырья, так и по объему его добычи и переработки (Кудряшов, 2013; Rauche 2015; Cocker, 2016; USGS, 2018).

Исследуемая территория располагается в среднем и нижнем течении р. Усолки – левобережного притока р. Камы (Камского водохранилища). Основным коллектором пресных подземных вод на участке является водоносная верхнесоликамская терригенно-карбонатная подсвета (P_1sl_2), приуроченная к терригенно-карбонатной толще месторождения. Водовмещающие породы представлены известняками, мергелями, песчаниками, тон-

косолистыми алевролитами. К верхней части разреза приурочены трещинно-грунтовые воды, которые чаще всего безнапорны. Обводненность подситы сильно изменяется, что обусловлено неравномерной трещиноватостью пород. Разгрузка подземных вод происходит, как правило, в виде крупных концентрированных родников и пластовых выходов. Наиболее крупные зоны разгрузки приурочены к положительным структурам, долинам рек и трещиноватым известнякам верхней части разреза.

Химический состав подситы формируется под влиянием комплекса природных факторов (гидродинамических, структурно-тектонических условий, литологического состава пород), а также в условиях интенсивного техногенного воздействия. Основными процессами, участвующими в формировании гидрохимического облика подземных вод, являются растворение, выщелачивание горных пород и перенос массопотоков различного гидрогеохимического типа, наличие

ионообменных процессов (Belkin et al., 2016; Ястребов и др., 2018). Подземные воды верхней части подситы, формирующиеся в естественных условиях, преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые, с минерализацией 0,2–0,3 г/дм³. Минерализация вод в нижней части подситы может увеличиваться до 2–5 г/дм³ (Меньшикова, Щукова, 2011; Ястребов и др., 2018).

Для изучения были выбраны две группы родников, локализованные в непосредственной близости от объектов складирования отходов калийных рудников. Первая из них, состоящая из пяти родников, разгружается на берегу техногенного озера в 800 м от шламохранилища калийного рудника, сформированного в понижении карьера для добычи глины, используемой на этапе строительства шламохранилища. Вторая группа состоит из трёх родников, разгрузка которых происходит на левом берегу р. Усолки в черте г. Соликамска, в 1000–1200 м от солеотвала калийного рудника (рисунок).

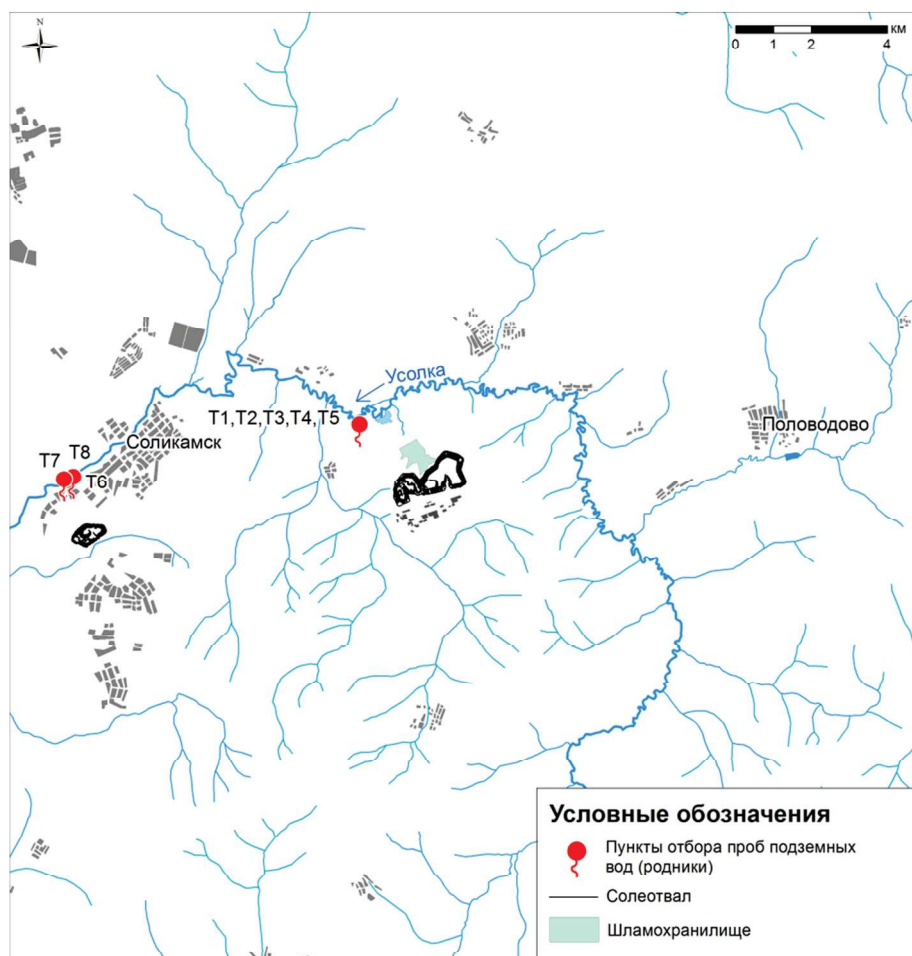


Схема расположения пунктов отробования подземных вод

Методика исследований

Изучение химического состава подземных вод зоны активного водообмена в пределах изучаемой территории проведено с целью определения влияния на него техногенных процессов разработки калийных солей.

Отбор подземных вод проводился в период зимней межени в 2016, 2017 и 2018 гг. Лабораторные исследования включали определение ионного состава (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_2^-), широкого перечня микроэлементов (Li, Be, B, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, W, Tl, Pb, Bi), содержания общего железа, pH, расчет общей жёсткости и минерализации.

Химико-аналитические исследования состава подземных вод выполнены в лаборатории гидрохимического анализа геологического факультета ПГНИУ. Ионный состав (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_2^-) определялся методом капиллярного электрофореза с применением системы «Капель», содержание общего железа – фотометрическим методом. Микроэлементы были проанализированы с применением масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Средние значения исследованных показателей химического состава рассчитаны с использованием статистической обработки. Она включала составление базы данных анализов проб и определение закона распределения каждой величины посредством построения графиков интегральной и дифференциальной функций распределения эмпирических значений содержания каждого компонента химического состава вод. После установления закона распределения из выборки были исключены аномальные значения, не удовлетворяющие критерию 3σ . Исключение аномальных значений, не входящих в доверительный интервал, позволило рассчитать для каждого показателя химического состава максимальные, минимальные и средние значения.

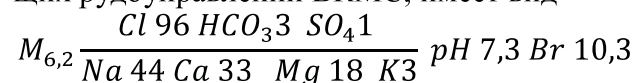
Наряду с этим, с целью оценки амплитудной изменчивости компонентов химического состава для каждого ряда значений

были рассчитаны коэффициенты вариации и показатель встречаемости. Значительный коэффициент вариации связан с отдельными экстремально высокими содержаниями веществ, которые могут наблюдаться вблизи промышленных зон, ниже по течению городов и т.п. (Меньшикова, 1998). Показатель встречаемости характеризует количество проб, где содержание определяемого компонента превысило нижний предел его обнаружения аналитическим методом. Для оценки взаимных зависимостей содержания компонентов химического состава подземных вод были рассчитаны парные коэффициенты корреляции.

Результаты и их обсуждение

Обобщенная характеристика химического состава подземных вод родников, разгружающихся в районах влияния предприятий калийной промышленности, представлена в табл. 1. Анализ данных позволяет охарактеризовать измененный химический состав подземных вод верхнесоликамской подсветы. По величине минерализации воды солоноватые ($M=6,2$ г/дм³), по pH – нейтральные (7,28), по показателю общей жесткости – очень жёсткие (55,28 мг-экв/дм³).

Химический состав определяется хлоридами и катионами натрия и кальция. Химический тип – хлоридный кальциево-натриевый. Усредненная формула ионного состава для родников верхнесоликамской подсветы, опробованных вблизи действующих рудоуправлений ВКМС, имеет вид



Содержание изученных компонентов ионного состава в большинстве случаев превышает допустимые концентрации для вод питьевого назначения, установленные СанПиН 2.1.4.1175-02, ГН 2.1.5.1315-03 и ГН 2.1.5.2280-07. Исключение составляют сульфаты (среднее значение по выборке – 0,13 ПДК), нитраты (0,54 ПДК) и нитриты (0,23 ПДК). Практически повсеместно обнаружены бромиды (98% проб) и калий (81%) – элементы, характерные для соляной толщи ВКМС.

Таблица 1. Обобщенные данные химического состава родников в пределах разрабатываемых участков ВКМС, 2016–2018 гг.

Компонент хим. состава	Содержание компонентов, мг/дм ³			Встречаемость, %	К вар, %	Ср/ПДК**
	макс.	мин.	средн.			
<i>Обобщенные показатели</i>						
рН	7,61	6,67	7,28	-	2,7	-
Жесткость	230,02	13,8	55,28	-	109,1	-
Минерализация	28367,00	1350,40	6177,99	-	114,7	6,178
<i>Компоненты ионного состава</i>						
СГ	17107,00	664,50	3715,35	100,00	119,7	10,615
Na ⁺	6708,00	95,36	1109,44	100,00	139,6	5,547
Ca ²⁺	2711,00	164,50	724,41	100,00	103,9	-
Mg ²⁺	1152,00	59,84	232,71	100,00	121,5	4,654
HCO ₃ ⁻	241,00	153,72	197,50	100,00	9,9	-
SO ₄ ²⁻	142,50	18,88	63,60	100,00	61,9	0,127
*Br ⁻	78,00	1,00	10,28	98,19	543	51,400
K ⁺	1204,00	0,96	143,45	81,0	208,0	-
NO ₃ ⁻	106,00	3,17	24,18	76,2	136,2	0,537
NH ₄ ⁺	105,00	0,27	15,20	38,1	240,7	10,133
Fe _{общ}	1,19	0,06	0,39	38,1	106,2	1,300
NO ₂ ⁻	0,08	0,04	0,07	23,8	24,2	0,233

Примечания: * Характеристика содержания бромид-иона приводится по данным режимных наблюдений (Харионов, 2002ф), анализируемая выборка – 77 анализов;

** Ср/ПДК – отношение установленного среднего значения показателя к ПДК для вод питьевого назначения согласно СанПиН 2.1.4.1175-02, ГН 2.1.5.1315-03 и ГН 2.1.5.2280-07.

Таблица 2. Корреляционная матрица компонентов ионного состава родников в пределах разрабатываемых участков ВКМС, 2016–2018 гг.

	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	СГ	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	М	рН
HCO ₃ ⁻	1,00											
SO ₄ ²⁻	0,30	1,00										
СГ	-0,50	0,25	1,00									
Ca ²⁺	-0,56	0,07	0,96	1,00								
Mg ²⁺	-0,55	0,01	0,88	0,97	1,00							
Na ⁺	-0,34	0,43	0,93	0,80	0,65	1,00						
K ⁺	-0,22	0,76	0,80	0,63	0,44	0,94	1,00					
NO ₃ ⁻	-0,02	0,02	0,59	0,40	0,56	0,49	0,23	1,00				
NH ₄ ⁺	-0,44	0,15	0,95	0,89	0,67	0,90	1,00	0,98	1,00			
NO ₂ ⁻	-0,16	-0,90	-0,72	-0,52	-0,31	-0,80	-0,94	-	-	1,00		
М	-0,47	0,28	1,00	0,95	0,85	0,95	0,83	0,57	0,94	-0,73	1,00	
рН	0,25	0,01	-0,68	-0,75	-0,78	-0,48	-0,40	-0,11	-0,06	0,66	-0,66	1,00

Примечания: М – минерализация; «-» – одновременного присутствия ионов в пробе не зафиксировано; красным цветом выделены ячейки с коэффициентом корреляции R>0,9; зелёным – с коэффициентом корреляции R>0,7; синим – с отрицательным коэффициентом R<-0,7.

Общее железо обнаружено в 38% проб. Среди азотсодержащих соединений ведущую роль играют нитраты (76%), встречаемость нитрит-аниона и катиона аммония значительно ниже – в 24 и 38% проб соответственно.

Анализ корреляционных зависимостей (табл. 2) иллюстрирует закономерную тесную взаимосвязь содержания хлоридов и катионов натрия, кальция, магния и калия, а также их общее влияние на минерализацию. К этой группе можно отнести катион аммо-

ния, содержание которого тесно связано с вышеперечисленными основными компонентами ионного состава и содержанием нитратов. Одновременного присутствия в пробах катиона аммония и нитрит-аниона не зафиксировано, что позволяет говорить о достаточно быстром окислении соединений азота до нитратных групп.

Обобщение результатов изучения микроэлементного состава минерализованных вод верхнесоликамской подсвиты на территории, прилегающей к действующим рудоуправлениям, приведено в табл. 3.

Повсеместно распространёнными микрокомпонентами химического состава изученных подземных вод являются Sr, Ba, B, Zn, Li, Ti, Ni, Cr, Rb, Co, Ge и Se. Присутствие этих веществ зафиксировано практически во всех изученных пробах. Более чем в 50% проб также обнаружены As, Bi, V, Mo, Sb, Cu, Zr, Mn, Pb, Cd, Ga, Be, Tl, Cs, Sn. Содержание Ag и W было зафиксировано менее чем в трети проб. Коэффициент вариации изменяется в широких пределах, его наиболее высокие значения характерны для сурьмы (258), мышьяка (252) и марганца (238).

Таблица 3. Обобщенные данные содержания микрокомпонентов в родниках в пределах разрабатываемых участков ВКМС, 2016 – 2018 гг.

Элемент	Содержание, мкг/дм ³			Встречаемость, %	K _{вар} , %	Ср/ПДК*
	макс.	мин.	средн.			
Sr	66159,801	1008,901	7177,515	100	222,9	1,025
Ba	5858,552	9,318	696,426	100	192,8	0,995
B	434,794	7,100	99,166	100	129,0	0,198
Zn	145,785	0,108	41,347	100	118,3	0,041
Li	102,502	4,500	32,035	100	94,1	1,068
Ti	130,464	1,100	23,830	100	170,9	0,238
Ni	81,979	1,330	11,337	100	178,9	0,567
Cr	33,196	2,160	10,026	100	104,8	0,200
Rb	49,985	0,380	5,065	100	229,2	0,051
Co	7,731	0,140	1,250	100	143,6	0,013
Ge	2,650	0,013	0,869	100	104,7	-**
Se	62,177	2,900	20,749	96,30	78,0	2,075
As	306,873	1,186	33,888	81,48	251,7	3,389
Bi	0,056	0,002	0,029	81,48	57,6	<0,001
V	35,605	3,138	9,172	74,07	99,2	0,092
Mo	2,768	0,300	1,119	74,07	57,6	0,016
Sb	5,889	0,021	0,640	74,07	258,0	0,128
Cu	8,739	0,040	1,970	70,37	115,1	0,002
Zr	0,045	0,011	0,024	66,67	46,4	-
Mn	353,770	0,297	44,681	62,96	238,0	0,447
Pb	1,307	0,005	0,305	62,96	119,6	0,031
Cd	0,610	0,003	0,213	62,96	109,4	0,213
Ga	0,221	0,068	0,146	60,00	35,9	-
Be	0,079	0,001	0,022	59,26	104,7	0,110
Tl	0,182	0,003	0,079	58,33	66,8	0,790
Cs	0,093	0,083	0,088	50,00	3,8	-
Sn	0,126	0,016	0,060	50,00	60,4	-
Ag	0,184	0,004	0,055	37,04	104,8	0,001
W	0,088	0,001	0,039	29,63	81,3	<0,001

Примечания: полужирным шрифтом выделены вещества, усредненная концентрация которых превышает предельно допустимые значения для вод питьевого назначения;

*Ср/ПДК – отношение установленного среднего значения показателя к ПДК для вод питьевого назначения согласно СанПиН 2.1.4.1175-02, ГН 2.1.5.1315-03 и ГН 2.1.5.2280-07;

** «-» – ПДК для вещества не установлена.

Наиболее стабильны концентрации цезия, галлия, циркония и молибдена. Относительно предельно допустимых концентраций для вод питьевого назначения наблюдается самое высокое содержание мышьяка, селена,

лития, стронция. Средняя концентрация в водах бария также находится на уровне ПДК. Отдельные превышения допустимых нормативов отмечаются по содержанию титана, никеля, сурьмы, марганца и таллия.

Таблица 4. Группировка микроэлементов по оценкам коэффициентов корреляции

Элемент	R, %					
	>90	80–90	70–80	Отрицательные связи	Зависимость от минерализации	Зависимость от pH
<i>1 группа</i>						
Mn	As, B, Ba, Be, Co, Cu, Ni, Rb, Sb, Sr, Tl, V, Zn	Ag	Se	-	0,72	-0,82
Co	As, Ba, Be, Cu, Ge, Mn, Ni, Sb, Sr, V	Ag, Ga, Tl	B, Se	Zr	0,77	-0,76
Cu	As, Ba, Be, Co, Mn, Ni, Sb, Sr, V, Zn	Ag	Ga, Se, Tl	-	0,76	-0,75
As	Ba, Co, Cu, Ga, Mn, Ni, Sb, Sr, V	Ag, Be, Ge, Se	Tl	-	0,76	-0,78
V	As, Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Sb, Sr, Zn	Ag, Be, Se	-	-	0,75	-0,73
Ni	As, Ba, Be, Co, Cu, Mn, Sb, Sr, V	Ag, Ga	Se, Tl	-	0,82	-0,76
Sb	As, Ba, Be, Co, Cu, Mn, Ni, Sr, V	Ag, Se, Zn	-	-	0,79	-0,78
Ba	As, Be, Co, Cu, Ni, Sb, Sr, V	Ag	Se	-	0,79	-0,78
Sr	As, Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Sb, V	Ag, Be, Ga	Ge, Se	-	0,78	-0,77
Be	Mn, Ni, Cu, Ba, Co, Zn Sb,	As, Sr, Ag, V, B, Rb, Tl	Mo	Cs	0,74	-0,88
Ag	W	As, Ba, Be, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Sb, Se, Sr, Ti, V, Zn	Li, Mo	-	0,81	-0,91
Se	-	Ag, As, Sb, V	Ba, Co, Cu, Mn, Ni, Sr	-	0,55	-0,58
Zn	Be, Cu, Mn, V	Ag, Sb, Zr	-	-	0,27	-0,25
Mo	-	-	Ag, Be	Ga	0,46	-0,50
<i>2 группа</i>						
Li	Cd, Ge, Ti	Ga	Ag, Cr, Tl	Zr	0,07	-0,31
Ge	Co, Ga, Li, Ti	As	Sr	Zr	0,19	-0,44
Ti	Ga, Ge, Li	Ag, Cd	B, Cr	Zr	-0,13	-0,09
Ga	As, Ge, Ti	Co, Li, Ni, Sr	Cu	Mo, Zr	0,10	-0,75
Cr	-	Cd, W	Li, Ti	-	-0,16	0,03
<i>3 группа</i>						
B	Mn, Rb, Tl	Be, Cd	Co, Ti	W	-0,07	-0,50
Rb	B, Mn,	Be, Tl	-	W	-0,14	-0,41
Tl	B, Mn	Be, Cd, Co, Rb	As, Cu, Li, Ni	W, Zr	0,04	-0,88
Cd	-	Ag, B, Cr, Ti, Tl	-	Pb	-0,09	-0,16
<i>4 группа</i>						
Zr	-	Cs, W, Zn	-	Co, Ga, Ge, Li, Ti, Tl	0,01 (0,75-SO ₄)	0,85
Cs	-	Zr	-	Be	0,74 (Cl)	0,66

Корреляционный анализ содержания микроэлементов в пробах минерализованных вод (табл. 4) позволяет выделить несколько групп элементов, концентрации которых находятся в прямой зависимости друг от друга.

Взаимно высокие коэффициенты корреляции наблюдаются для 3 групп микроэлементов. Наибольшие значения (почти прямая зависимость, $R > 0,95$) характерны для марганца, кобальта, меди, мышьяка, ванадия, никеля, сурьмы, бария и стронция. С некоторыми оговорками в эту группу также можно включить серебро, селен, цинк и молибден. Отдельно стоит отметить значимую тенденцию роста концентраций этих элементов с ростом минерализации и снижением значения водородного показателя. Высокое значение коэффициента корреляции принимает также при анализе содержаний лития, германия, титана и галлия. Кроме того, высокая положительная связь между бором, рубидием и таллием выражается в сильной зависимости концентраций этих элементов от содержания марганца.

По данным проведенного анализа для циркония и цезия характерно увеличение подвижности в щелочной среде, в связи с чем эти элементы выделены в особую подгруппу. Высокой корреляции железа, вольфрама, висмута и свинца с несколькими элементами в изученных пробах не выявлено.

Заключение

Подводя итог изучению гидрохимических особенностей подземных вод зоны активного водообмена в зоне влияния объектов складирования отходов, можно охарактеризовать их типичный химический состав. Основной ионный состав определяется присутствием хлоридов, а также катионов кальция и натрия. Остальные макрокомпоненты играют подчиненную роль. В микроэлементном составе значительную роль играют щелочные и щелочно-земельные металлы (стронций, барий, литий, рубидий), полуметаллы (бор, мышьяк, селен, германий), ряд тяжелых металлов. Данные наблюдений также указывают на значительные концентрации бромидов в подземных водах, испытывающих на себе

влияние процессов разработки калийного месторождения. Необходимо отметить, что усредненные концентрации некоторых изученных компонентов химического состава подземных вод превышают предельно допустимые значения. Результаты настоящей работы могут быть полезны при разработке и корректировке программ гидрохимического мониторинга действующих рудоуправлений. В настоящий момент эти исследования в пределах Верхнекамского месторождения ограничиваются главным образом контролем основного ионного состава вод. Однако стабильное наличие повышенных концентраций в воде веществ первого (мышьяк) и второго (литий, стронций, селен) классов опасности, установленное по результатам трёхлетних наблюдений, указывает на необходимость дополнения программ мониторинга природных вод в районе действующих рудоуправлений исследованиями микроэлементного состава.

Библиографический список

- Бельтюков Г.В.* Карстовые и гипергенные процессы в эвапоритах: дис. ... д-ра геол.-мин. наук / Перм. гос. ун-т. Пермь, 2000. 337 с.
- Гольдберг В.М., Газда С.* Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 1984. 262 с.
- Горбунова К.А., Максимович Н.Г., Андрейчук В.Н.* Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области: препринт / УрО АН СССР. Свердловск, 1990. 44 с.
- Кудряшов А.И.* Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд., перераб. М.: Эpsilon Плюс, 2013. 368 с.
- Меньшикова Е.А.* Процессы формирования техногенно-аллювиальных осадков рек Урала: дис. ... канд. геол.-мин. наук / Перм. гос. ун-т. Пермь, 1998. 149 с.
- Меньшикова Е.А., Щукова И.В.* Водозаборы подземных вод в зоне влияния горнохимического производства // Современные проблемы науки и образования. 2011. № 6. URL: www.science-education.ru/100-5249.
- Мироненко В.А., Молюцкий Е.В., Румынин В.Г.* Изучение загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах. Л.: Недра, 1988. 279 с.
- Ястребов А.А., Мамаев Ю.А., Иванов Ю.К.* Гидрогеохимические особенности распространения подземных вод Соликамского района Перм-

ского края // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2018. №3. С. 65 – 71. DOI 10.7868/S0869780318030079.

Belkin P.A., Menshikova E.A., Kataev V.N. Influence of ion exchange processes on the composition of the groundwater from the Upper Kama potash salt deposit // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 16, Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems. 2016. P. 173–180.

DOI 10.5593/SGEM2016/HB33/S02.022.

Fetisova N.F., Fetisov V.V., Maio M.D., Zektser I.S. Groundwater vulnerability assessment based on calculation of chloride travel time through

the unsaturated zone on the area of the Upper Kama potassium salt deposit // Environmental Earth Sciences, 2016. Vol. 75. P. 1–12. DOI 10.1007/s12665-016-5496-6.

Cocker M., Orris G., Wynn J. U.S. Geological Survey assessment of global potash production and resources – A significant advancement for global development and a sustainable future // GSA Special Papers. 2016. P. 89–98. DOI 10.1130/2016. 2520 (10).

Rauche H. Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2015. 580 p. DOI: 10,1007 / 978-3-662-46834-0.

Mineral commodity summaries 2019 // U.S. Geological Survey. 200 p. DOI 10.3133/70202434.

Chemical Composition of Spring Discharge in the Area of Mining Waste Storage and Potassium Salt Enrichment

P.A. Belkin

Perm State University

15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia. E-mail: pashabelkin@mail.ru

Mining and processing of potassium salts in humid regions is inevitably connected with the disturbance of natural hydrochemical conditions. In order to describe the chemical composition of groundwater discharged in the immediate vicinity of potash waste storage facilities, spring flow studies were conducted, including sampling and analysis of the macro- and micro-component composition of eight springs over the period 2016–2018. A general description of the chemical composition of spring runoff waters is given, and correlations between the content of various components of their composition are studied. The obtained results make it possible to identify a number of chemicals that determine the technogenic transformation of the chemical composition of groundwater near potash waste storage facilities.

Key words: *groundwater; potassium salt deposit; technogenesis; transformation of the chemical composition.*

References

Beltyukov G.V. 2000. Karstovye i gipergennye protsessy v evaporitakh [Karst and hypergenic processes in evaporites]. Diss. doc. geol.-min. nauk, Perm, p. 337. (in Russian)

Goldberg V.M., Gazda S. 1984. Gidrogeologicheskiye osnovy okhrany podzemnykh vod ot zagryazneniya [Hydrogeological basis for the protection of groundwater from pollution]. Nedra, Moskva, p. 262. (in Russian)

Gorbunova K.A., Maksimovich N.G., Andreychuk V.N. 1990. Tekhnogennoye vozdeystviye na geologicheskuyu sredu Permskoy oblasti [Technogenic impact on the geological environment of the Perm region]. Ural Branch of the USSR Academy of Sciences, Sverdlovsk, p. 44. (in Russian)

Kudryashov A.I. 2013. Verkhnekamskoye mes-torozhdeniye soley [Verkhnekamskoye salt deposit]. Moskva, p. 368. (in Russian)

Menshikova E.A. 1998. Protsessy formirovaniya tekhnogenno-allyuvialnykh osadkov rek Urala [Processes of formation of technogenic alluvial sediments of the Urals rivers]. Diss. cand. geol.-min. nauk, Perm, p. 149. (in Russian)

Menshikova E.A., Shchukova I.V. 2011. Vodozabory podzemnykh vod v zone vliyaniya gorno-khimicheskogo proizvodstva [Water intakes of underground waters in the zone of influence of mining-chemical industry]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 6. URL: www.scienceeducation.ru/100-5249 (accessed 02.09. 2019). (in Russian)

Mironenko V.A., Mol'skiy E.V., Rumynin V.G. 1988. Izucheniye zagryazneniya podzemnykh vod v gornodobyvayushchikh rayonakh [Studying groundwater pollution in mining areas]. Nedra, Leningrad, p. 279 (in Russian)

Yastrebov A.A., Mamayev Yu.A., Ivanov Yu.K. 2018. Gidrogeokhimicheskiye osobennosti raspros-

traniya podzemnykh vod Solikamskogo rayona Permskogo kraya [Hydrogeochemical features of the distribution of groundwater in the Solikamsky district of the Perm region]. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. 3:65-71. (in Russian) doi:10.7868/S0869780318030079.

Belkin P.A., Menshikova E.A., Kataev V.N. 2016. Influence of ion exchange processes on the composition of the groundwater from the Upper Kama potash salt deposit. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 16, Water Resources. Forest, Marine and Ocean Ecosystems*. pp. 173-180. doi:10.5593/SGEM2016/HB33/S02.022.

Fetisova N.F., Fetisov V.V., Maio M.D., Zektser I.S. 2016. Groundwater vulnerability as-

essment based on calculation of chloride travel time through the unsaturated zone on the area of the Upper Kama potassium salt deposit. *Environmental Earth Sciences*. 75:1-12. doi:10.1007/s12665-016-5496-6.

Cocker M.D., Orris G.J., Wynn J.U.S. 2016. Geological Survey assessment of global potash production and resources—A significant advancement for global development and a sustainable future. *GSA Special Papers*, pp. 89–98. doi:10.1130/2016.2520(10).

Rauche H. 2015. *Die Kaliindustrie im 21. Jahrhundert*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 580.

U.S. Geological Survey. 2019. Mineral commodity summaries 2019. U.S. Geological Survey, p. 200. doi:10.3133/70202434.