

ГЕОЭКОЛОГИЯ (НАУКИ О ЗЕМЛЕ)

УДК 502/504

Характеристика техногенной трансформации химического состава родникового стока в районе добычи солей на примере Верхнекамского месторождения**П.А. Белкин**

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: pashabelkin@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 11 декабря 2017 г.)

Исследования гидрохимического влияния объектов калийной промышленности проведены в центральной части ВКМС, в окрестностях г. Соликамска (Пермский край). Обобщены данные мониторинга состава подземных вод на участке, планируемом к освоению, и результаты опробования родников в непосредственной близости от действующих предприятий. Результаты сопоставления усредненных характеристик химического состава показали значительные изменения в составе вод. Анализ степени этих изменений проведен с использованием статистических методов. Ионный состав подземных вод обогащается хлоридами, бромиды, катионами натрия, калия, кальция, магния, аммония. Гидрохимическими индикаторами изменения микроэлементного состава являются марганец, кобальт, мышьяк, ванадий, никель, сурьма, барий, стронций, селен.

Ключевые слова: *подземные воды, химический состав, месторождения калийных солей, техногенез, геохимические индикаторы.*

DOI: 10.17072/psu.geol.17.3.297

Введение

Верхнекамское месторождение солей (ВКМС) является уникальным объектом, обладающим мировым значением. Как по запасам, так и по объемам добычи калийных солей ВКМС занимает второе место в мире, а история его освоения насчитывает почти 100 лет (Кудряшов, 2013; Rauche, 2015; Cocker, 2016). Этому способствует геологическое строение, которое характеризуется наличием мощных выдержанных пластов каменной и калийных солей, занимающих Соликамскую впадину. Надсолевые отложения представлены толщами карбонатных и терригенных пород, а также четвертичными и техногенными образованиями.

Отработка месторождения находится в активной фазе. Разрабатываются четыре участка месторождения, еще четыре нахо-

дятся в стадии подготовки к освоению. Однако интенсивное использование ресурсов ВКМС связано с высокой техногенной нагрузкой на природную среду территории. Несмотря на широкое применение природоохранных мероприятий (снижение водопотребления и сокращение выбросов, активное ведение закладочных работ и т.п.), текущая деятельность различных производств на территории ВКМС активизирует изменения состава природных вод. Это показано в опубликованных работах (Щукова, Ушакова, 2012; Щукова, 2014).

Основными гидрогеологическими подразделениями, в которых сосредоточены практически все ресурсы подземных вод надсолевого комплекса пород, являются соликамская свита (в первую очередь водоносная верхнесоликамская терригенно-карбонатная подсвита P_{1sh_2}) и слабоводо-

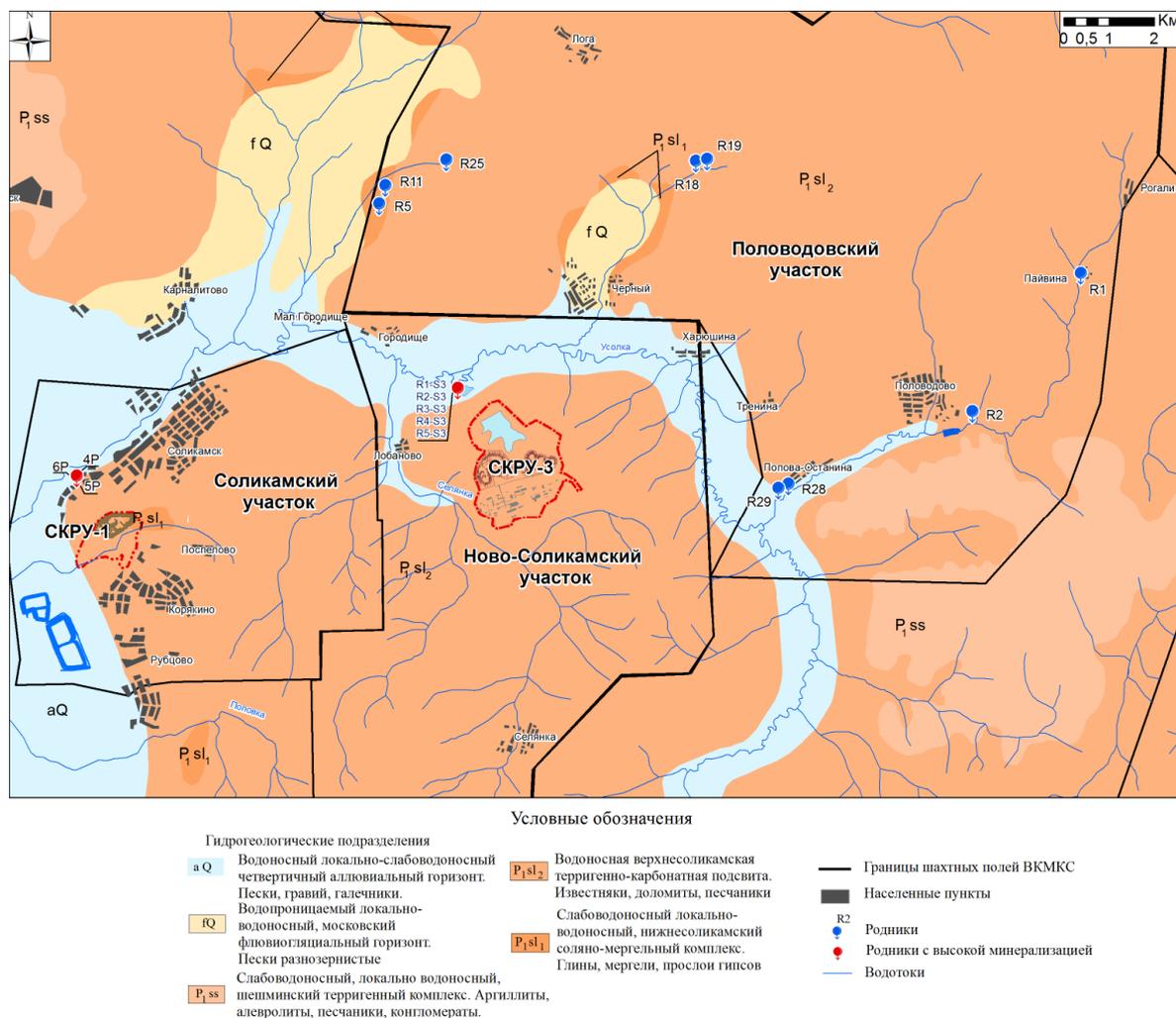
носный локально-водоносный шешминский терригенный комплекс ($P_1\text{šš}$). Воды верхнесоликамской подсвиты используются для водоснабжения производственных комплексов и городского населения. Питание указанных водоносных горизонтов на территории ВКМС происходит преимущественно за счет инфильтрации атмосферных осадков и взаимных перетоков, что может способствовать влиянию техногенных факторов на состав подземных вод.

Объект исследования

Исследования влияния разработки месторождений калийных солей на химизм приповерхностной гидросферы проведены в центральной части Верхнекамского ме-

сторождения солей, в пределах трёх участков детальной разведки ВКМС – Соликамского, Ново-Соликамского и Половодовского (см. рисунок). Исследуемая территория располагается в среднем и нижнем течении р. Усолки. В левобережной части бассейна реки располагаются действующие калийные предприятия. В правобережной части крупные производства, в том числе калийные, отсутствуют.

Характеристика химического состава подземных вод зоны активного водообмена на изучаемой территории приводится по результатам изучения водоносной верхнесоликамской терригенно-карбонатной подсвиты (P_1sl_2).



Схематическая гидрогеологическая карта территории исследований

Она является основным коллектором пресных подземных вод и распространена на исследуемой территории повсеместно

(рисунок). Мощность подсвиты увеличивается в восточном направлении от нескольких десятков метров в долине р. Ка-

мы до 70–100 м в восточной и юго-восточной части исследуемой территории (Кудряшов, 2013).

Химический состав подсветы формируется под влиянием многих факторов, в том числе гидродинамических, структурно-тектонических условий, литологического состава пород, а также хозяйственной деятельности человека. Подземные воды верхней части подсветы, залегающие выше эрозионного вреза, имеют в основном гидрокарбонатно-кальциевый состав с минерализацией 0,2–0,3 г/дм³. Ниже эрозионного вреза, до глубин 50–100 м, преобладают пресные гидрокарбонатные магниевые-кальциевые и гидрокарбонатные кальциево-натриевые воды с минерализацией до 0,5 г/дм³. При значительных ресурсах и низкой минерализации подземные воды данного подразделения имеют большое практическое значение. За счет этих вод обеспечиваются бытовые и технические нужды населения и предприятий города Соликамска и других ближайших населённых пунктов (Меньшикова, Щукова, 2011).

Материалы и методы

Для оценки изменения химического состава подземных вод используются обобщённые результаты гидрохимического опробования родникового стока. Характеристики химического состава подземных вод на территории Половодовского участка, ввиду его удалённости от действующих калийных предприятий и расположения в правобережной части бассейна р. Усолки, принимаются в настоящей работе в качестве условно фоновых значений. Для расчета фоновых значений выбрано 9 режимных родников, опробование которых проводилось 4 раза в год в основные фазы гидрологического цикла с 2010 по 2017 г. Родники расположены в различных частях участка, на значительном удалении друг от друга.

Характеристика химического состава подземных вод верхнесоликамской подсветы в пределах действующих участков ВКМС проведена по результатам опробо-

вания родниковой разгрузки в непосредственной близости от производственных объектов. Отбор проб воды на химический анализ проводился с 2016 по 2018 г. в период зимней межени.

Зона разгрузки подземных вод, расположенная в 800 м в северо-западном направлении от дамбы шламохранилища рудника СКРУ-3, представляет собой группу из 5 родников. Эти родники приурочены к юго-восточному борту техногенного озера.

Разгрузка родников на левом берегу р. Усолки происходит в черте г. Соликамска, выше ж/д моста. Проводилось опробование трёх родников, расположенных на расстоянии 1000–1200 м от солеотвала СКРУ-1.

Расчет обобщённых значений основных макро- и микрокомпонентов химического состава, а также минерализации, жесткости, общего железа и рН произведен с использованием статистической обработки.

Результаты опробования подземных вод за многолетний период на фоновом участке, а также на разрабатываемых участках месторождения по каждому показателю сводились в единый массив данных. Далее, с применением графического метода анализа в ПО MS Excel, для полученного ряда значений определялся закон распределения величин.

С этой целью были построены графики интегральной и дифференциальной функций распределения эмпирических значений содержания каждого компонента химического состава вод. Для исследуемого ряда определялись среднее арифметическое значение и величина стандартного отклонения (σ). На основе полученных показателей были построены графики теоретического распределения, соответствующие нормальному закону распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

а также логнормальному закону распределения

$$f_X(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

где μ – математическое ожидание.

Сопоставление графиков функций распределения исследуемого ряда показателей химического состава и теоретических кривых позволило определить закон распределения величин для каждого изучаемого компонента.

После установления закона распределения из выборки были исключены аномальные значения, не удовлетворяющие критерию

$$-3\sigma < X < 3\sigma.$$

Исключение аномальных значений, не входящих в доверительный интервал, позволило рассчитать для каждой величины максимальные, минимальные и средние значения гидрохимических показателей.

Наряду с этим, для каждой величины был определен коэффициент вариации. Коэффициент вариации рассчитан с целью оценки амплитудной изменчивости компонентов химического состава. Значительный коэффициент вариации связан с отдельными экстремально высокими содержаниями веществ, которые могут наблюдаться вблизи промышленных зон, городов, расположенных ниже по течению и т.п. (Меньшикова, 1998). Оценка взаимной зависимости концентраций макро- и микрокомпонентов химического состава проведена путём корреляционного анализа. С помощью этого метода проанализирована зависимость содержания химических веществ в воде от значений водородного показателя рН и общей минерализации.

Основной объём химико-аналитических исследований состава подземных вод (анализ содержания макроэлементов, определение минерализации, общего железа и рН) выполнен в лаборатории гидрохимического анализа геологического факультета ПГНИУ. Определение ионного состава (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , NO_2^-) проводилось методом капиллярного электрофореза с применением системы «Капель». Содержание общего железа в пробах воды устанавливалось фото-

метрическим методом. Определение 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) в пробах воды проводилось в лабораториях Сектора наноминералогии геологического факультета ПГНИУ и Института геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН (г. Екатеринбург) с применением масс-спектрометров с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Результаты

Сравнительный анализ усредненных показателей химического состава фоновых родников и родников, разгружающихся вблизи действующих рудоуправлений, приведён в табл. 1. Изменение общих показателей химического состава выражается в значительном росте общей минерализации и общей жесткости подземных вод, разгрузка которых происходит в окрестностях действующих рудоуправлений, а также в тенденции снижения рН. Значительное повышение коэффициента вариации показателей общей минерализации и жёсткости в сравнении с фоновыми значениями определённо указывает на техногенную природу роста их значений.

Наибольший рост концентраций выражается в содержаниях катионов калия и натрия, а также хлоридов (в 200–500 раз). Вторую группу (увеличение концентраций в 10–25 раз) образуют катионы аммония, магния и кальция, а также бромиды. Для всех вышеуказанных компонентов кроме увеличения их концентраций характерен рост коэффициента вариации ($K_{\text{вар}} > 100$ для всех компонентов), что свидетельствует о значительной амплитудной изменчивости значений и отдельных высоких содержаниях. Это признак наличия различных по времени и интенсивности воздействия источников поступления компонентов в подземные воды верхнесоликамской подлитвы.

Концентрации нитратов и сульфатов, а также ионов железа характеризуются значительно меньшим ростом (1–3 раза), при этом содержание сульфат-аниона в изу-

ченных пробах минерализованных родников относительно стабильно ($K_{\text{вар}}=61,9$), его рост закономерно происходит с ро-

стом общей минерализации. Наличие отдельных высоких значений характерно только для нитратов и общего железа.

Таблица 1. Сравнительный анализ средних значений показателей химического состава, концентрации ионов и коэффициента их вариации в изученных родниках верхнесоликамской подсвиты (содержание ионов – в мг/дм³)

Показатель	Среднее значение		Δ , %	$K_{\text{вар.}}$, %		Δ , %		
	условный фон	вблизи рудника		условный фон	вблизи рудника			
<i>Общие показатели</i>								
рН	7,65	7,28	↓	-5	3,6	2,7	↓	-25
М, мг/дм ³	309,46	6177,99	↑	1896	8,3	114,7	↑	1282
Жесткость общая, мг-экв/дм ³	3,86	55,28	↑	1332	9,5	109,1	↑	1048
<i>Компоненты ионного состава</i>								
<i>Cl</i>	6,59	3715,35	↑	56279	49,2	119,7	↑	143
<i>Na⁺</i>	2,09	1109,44	↑	52983	28,4	139,6	↑	392
<i>K⁺</i>	0,71	143,45	↑	20104	46,6	208,0	↑	346
<i>NH₄⁺</i>	0,56	15,20	↑	2614	42,5	240,7	↑	466
<i>Mg²⁺</i>	11,56	232,71	↑	1913	38,2	121,5	↑	218
<i>Ca²⁺</i>	58,74	724,41	↑	1133	13,2	103,9	↑	687
<i>*Br⁻</i>	1,15	10,28	↑	794	–	–	–	–
Fe _{общ}	0,10	0,39	↑	290	123	106,2	↓	-14
SO ₄ ²⁻	19,03	63,60	↑	234	55,9	61,9	↑	11
NO ₃ ⁻	11,46	24,18	↑	111	48,8	136,2	↑	179
NO ₂ ⁻	0,05	0,07	↔	40	180	24,2	↓	-87
HCO ₃ ⁻	199,44	197,50	↔	-1	9,8	9,9	↔	1

Примечания: *– значения условно-фоновых концентраций бромид-иона приведены с использованием результатов работы Т.В. Харитоновой (2002); ↑– резкий рост показателя; ↑– рост показателя; ↔– отсутствие значимых изменений; ↓– снижение показателя.

Результаты сопоставления средних содержаний и коэффициента вариации микроэлементов в пробах подземных вод верхнесоликамской подсвиты приведены в табл. 2. Наибольший рост концентрации в родниках, разгружающихся вблизи калийных предприятий, относительно фоновых значений, характерен для мышьяка (почти в 100 раз) и марганца (почти в 30 раз). Более чем в 10 раз растут средние концентрации стронция, титана и рубидия. Для всех перечисленных элементов характерны высокие значения коэффициента вариации, что свидетельствует о различных по времени и интенсивности воздействия источников их поступления. Содержание меди и молибдена незначительно снизилось. Отмечено наиболее суще-

ственное (почти двукратное) снижение концентрации вольфрама в минерализованных родниках в сравнении с фоновым значением. Кроме того, для трёх перечисленных металлов характерно снижение коэффициента корреляции.

Обсуждение

Результаты сопоставления ионного состава фоновых и минерализованных родников, с учетом элементов-индикаторов воздействия калийной промышленности (Белкин, Катаев, 2018) позволяют сделать следующие выводы о направлении изменения ионного состава подземных вод зоны активного водообмена вблизи калийных предприятий.

Таблица 2. Сравнительный анализ средних концентраций микроэлементов и их вариации в изученных родниках верхнесоликамской подспиты (концентрация – в мкг/дм³)

Показатель	Среднее значение		Δ, %	К _{вар.} , %		Δ, %		
	условный фон	вблизи рудника		условный фон	вблизи рудника			
As	0,347	33,888	↑	9666	90,5	251,7	↑	178
Mn	1,455	44,681	↑	2971	230,6	238,0	↔	3
Sr	348,030	7177,515	↑	1962	114,8	222,9	↑	94
Ti	1,468	23,830	↑	1523	66,9	170,9	↑	155
Rb	0,359	5,065	↑	1311	–	229,2	–	–
Ba	87,227	696,426	↑	698	111,9	192,8	↑	72
Zn	7,865	41,347	↑	426	121,9	118,3	↔	-3
Co	0,248	1,250	↑	404	85,3	143,6	↑	68
V	1,980	9,172	↑	363	116,9	99,2	↓	-15
Se	5,269	20,749	↑	294	161,6	78,0	↓	-52
Sb	0,194	0,640	↑	230	67,5	258,0	↑	282
Ni	3,854	11,337	↑	194	72,3	178,9	↑	147
Ge	0,303	0,869	↑	187	–	104,7	–	–
Ga	0,059	0,146	↑	147	–	35,9	–	–
B	41,429	99,166	↑	139	–	129,0	–	–
Li	13,738	32,035	↑	133	165,3	94,1	↓	-43
Cr	5,384	10,026	↑	86	118,0	104,8	↓	-11
Cd	0,120	0,213	↑	78	150,7	109,4	↓	-27
Ag	0,032	0,055	↑	72	181	104,8	↓	-42
Bi	0,022	0,029	↑	32	94,5	57,6	↓	-39
Zr	0,019	0,024	↑	26	–	46,4	–	–
Sn	0,050	0,060	↑	20	–	60,4	–	–
Be	0,020	0,022	↔	10	108,6	104,7	↔	-4
Tl	0,072	0,079	↔	10	–	66,8	–	–
Pb	0,310	0,305	↔	-2	106,5	119,6	↑	12%
Cs	0,090	0,088	↔	-2	–	3,8	–	–
Cu	2,285	1,970	↓	-14	188,7	115,1	↓	-39%
Mo	1,366	1,119	↓	-18	97,2	57,6	↓	-41%
W	0,673	0,039	↓	-94	282,2	81,3	↓	-71%

Примечания: «–» данные отсутствуют ввиду малого количества проб фоновых родников; ↑ – резкий рост показателя; ↑ – рост показателя; ↔ – отсутствие значимых изменений; ↓ – снижение показателя

Основной вклад в трансформацию химического состава пресных подземных вод зоны активного водообмена вносит поступление хлоридов и катионов натрия, источником которых являются объекты складирования отходов калийных производств. Содержание этих компонентов, достигающее максимума в рассолах шламохранилищ и фильтрате с солеотвалов, продолжает определять гидрохимический тип вод и после существенного разбавления, что подтверждается данными изучения родникового стока с территорий предприятий. Содержание ионов калия,

также высокое в техногенных рассолах, снижается значительно быстрее, ввиду особенностей его химизма (включение в состав коллоидных комплексов, высокая биогенность). Единая природа поступления этих ионов в состав подземных вод, кроме того, подтверждается высокими значениями парных коэффициентов их корреляции.

Содержание катионов кальция, магния и аммония по результатам корреляционного анализа напрямую связано с ростом общей минерализации и содержанием хлоридов, натрия и калия. Этот факт поз-

воляет сделать вывод об общей природе роста их концентраций в изученных родниках. Повышенное присутствие соединений азота может быть связано с их применением в качестве реагентов в технологическом цикле калийных производств (Титков, 1982; Тетерина, 2002; Rauche, 2015 и др.). При изучении динамики содержания ионов кальция и магния обнаруживается их отличительная особенность – значительный рост относительной доли (в %-экв./дм³) при движении рассолов от источника их поступления к местам разгрузки. Высокие концентрации бромидов также характерны для стоков калийных производств (Тетерина, 2002).

Повышенные концентрации нитратов, сульфатов и общего железа также могут быть связаны с влиянием калийного производства. Источником поступления этих веществ в воды родникового стока могут являться утечки жидких отходов производства. Содержание сульфатов в жидких отходах калийного производства может достигать 4-5 г/дм³, что, вкупе с их высокой миграционной способностью, может способствовать росту концентрации этих ионов в подземных водах зоны активного водообмена. Наряду с техногенными причинами, рост содержания сульфатов может быть вызван и природными факторами – растворением сульфатных минералов и подтоком вод нижнесоликамской подлиты. Высокое содержание железа в составе глинисто-солевых шламов, а также техногенных стоках предприятий ВКМС отмечается в работах Б.А. Бачурина (2006, 2007). Повышение содержания нитратов может быть связано с процессами окисления соединений аммония. Корреляционный анализ не выявил явной связи содержания этих веществ с минерализацией и концентрацией хлоридов и ионов натрия. При этом зафиксирован высокий коэффициент корреляции между содержанием катиона аммония и нитратами ($R=0,94$).

Содержание гидрокарбонат-иона определяется только природными причинами и находится на одном уровне как в родниках на фоновых участках, так и в подзем-

ных водах разрабатываемых участков ВКМС. Количество нитритов повсеместно низкое, выявлена обратная корреляционная зависимость их содержания от концентраций сульфатов, хлоридов, натрия, калия и аммония.

Таким образом, *гидрохимическими индикаторами* воздействия предприятий калийной промышленности на *ионный состав* подземных вод зоны активного водообмена, по результатам проведенных исследований на территории Верхнекамского месторождения калийных солей, являются *хлориды, бромиды, катионы натрия, калия, кальция, магния, аммония*. В меньшей степени прослеживается связь воздействия калийных предприятий с увеличением концентраций в подземных водах нитратов, сульфатов и общего железа.

Специфические микрокомпоненты состава подземных вод разрабатываемых участков ВКМС определены с применением корреляционного анализа. В ходе анализа корреляционных зависимостей были выделены четыре группы микроэлементов, содержание которых в подземных водах разрабатываемых участков ВКМС характеризовалось взаимными зависимостями друг от друга (табл. 3). Затем из числа элементов, входящих в каждую группу, были исключены те вещества, рост концентраций которых составил менее 100%. Это позволило выделить микроэлементы, характерные именно для участков, располагающихся вблизи хранилищ солеотходов, и исключить иные факторы их попадания в подземные воды (например, атмосферный перенос выбросов других предприятий и транспорта). Для дальнейшей детализации перечня были выделены группы микроэлементов, чье содержание находилось в прямой зависимости от роста общей минерализации вод и в обратной зависимости от величины рН. Результаты сопоставления приведены в табл. 3.

Таким образом, результаты проведенных работ по сопоставлению микроэлементного состава подземных вод верхнесоликамской терригенно-карбонатной

подсветы в пределах разрабатываемых участков ВКМС и фонового Половодского участка, позволяют выделить элементы-индикаторы, демонстрирующие влияние производственной деятельности калийных предприятий. В этот перечень входят *марганец, кобальт, мышьяк, вана-*

дий, никель, сурьма, барий, стронций, селен. Доказана связь роста концентраций этих элементов с увеличением минерализации и снижением значения рН подземных вод, что является характерной чертой подземных вод, попадающих под влияние жидких отходов калийного производства.

Таблица 3. Сопоставление результатов корреляционного анализа содержания микроэлементов в подземных водах разрабатываемых участков ВКМС и превышений их концентраций относительно условного фона

Критерий	Группа 1	Группа 2	Группа 3	Группа 4
По результатам корреляционного анализа	Mn, Co, Cu, As, V, Ni, Sb, Ba, Sr, Be, Ag, Se, Zn, Mo ↓	Li, Ge, Ti, Ga, Cr ↓	B, Rb, Tl, Cd ↓	Zr, Cs ↓
Характерные для подземных вод разрабатываемых участков ВКМС (рост > 2 раз в сравнении с фоном)	Mn, Co, As, V, Ni, Sb, Ba, Sr, Se, Zn ↓	Li, Ge, Ti, Ga ↓	B, Rb ↓	–
С прямой зависимостью от роста общей минерализации и обратной зависимостью от величины рН	Mn, Co, As, V, Ni, Sb, Ba, Sr, Se ↓	–	–	
Элементы-индикаторы воздействия калийной промышленности	<i>Mn, Co, As, V, Ni, Sb, Ba, Sr, Se</i>			

По данным корреляционного анализа рост концентраций цинка, лития, германия, титана, галлия, бора и рубидия не зависит от значений общей минерализации и рН. Однако взаимная обусловленность роста их концентраций, а также результаты обзора микроэлементного состава калийных руд и отходов производства калийной промышленности (Белкин, Катаев, 2018) показывают, что изучаемые предприятия ВКМС также могут быть источником поступления вышеназванных веществ в подземные воды зоны активного водообмена.

Заключение

Исследования гидрохимического влияния объектов складирования отходов калийной промышленности проведены в центральной части ВКМС, в окрестностях г. Соликамска. Результаты сопоставления усредненных характеристик химического состава подземных вод верхнесоликам-

ской терригенно-карбонатной подсветы, разгружающихся на фоновом участке и в пределах влияния действующих предприятий, показали значительные изменения в составе вод. Анализ степени этих изменений, проведенный с использованием статистических методов, позволил установить ряд растворенных веществ, определяющих специфику воздействия калийных предприятий на пресные воды. Ионный состав подземных вод обогащается главным образом *хлоридами, бромидами, катионами натрия, калия, кальция, магния, аммония.* Гидрохимическими индикаторами изменения микроэлементного состава являются *марганец, кобальт, мышьяк, ванадий, никель, сурьма, барий, стронций, селен.*

С учетом выявленных закономерностей контроль перечня компонентов химического состава подземных вод, охарактеризованный в настоящей работе, необходим для эффективного и комплексного обеспечения безопасности использования вод-

ных ресурсов в условиях разработки месторождений солей.

Библиографический список

Бачурин Б.А. Геохимическая трансформация отходов горного производства // Минералогия техногенеза. Миасс, 2007. С 177-188.

Бачурин Б.А. Экологические проблемы горно-промышленных районов Пермского края // Экология и промышленность России. 2006. Апрель. С. 32-35.

Белкин П.А., Катаев В.Н. Закономерности техногенной трансформации химического состава подземных вод в районах разработки калийных месторождений // Известия УГГУ. 2018. Вып. 2(50). С. 55-64. DOI 10.21440/2307-2091-2018-2-55-64.

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 про-

блемы науки и образования. 2011. № 6. URL: www.science-education.ru/100-5249.

Тетерина Н.Н., Сабиров Р.Х., Сквирский Л.Я., Кириченко Л.Н. Технология флотационного обогащения калийных руд / под ред. Н.Н. Тетериной. Пермь: ОГУП «Соликамская типография», 2002. 484 с.

Титков С.Н., Мамедов А.И., Соловьёв Е.И. Обогащение калийных руд. М.: Недра, 1982. 216 с.

Щукова И.В. Современное состояние подземных вод района развития соляного карста на территории Пермского края // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 12-1. С. 37-42.

Щукова И.В., Ушакова Е.С. Подземные воды соликамской градопромышленной агломерации // Интернет-Вестник ВолГАСУ. 2012. № 2 (22). С. 16.

Cocker M. D., Orris G. J., 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.

The Characteristic of Technogenic Transformation of the Springs Discharge Chemical Composition in the Area of Salt Mining: An Example of the Upper Kama Deposit

P.A. Belkin

Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia

E-mail: pashabelkin@mail.ru

Study of influence of the potash industry facilities on the hydrochemical properties of groundwater was conducted in the central part of Upper Kama potash salt deposit in vicinity of city of Solikamsk (Perm Region). Data collected during the monitoring of underground waters composition outside the development area and in the springs close to operating mines were generalized. Results of waters samples study revealed considerable variation in the chemical composition. The obtained data were analysed using statistical methods. The ionic composition of underground waters from the operating areas of potash mines was enriched with chlorides, bromides, and cations of sodium, potassium, calcium, magnesium, and ammonium. Hydrochemical indicators of change of microelement composition were manganese, cobalt, arsenic, vanadium, nickel, antimony, barium, strontium, selenium.

Key words: *groundwater, chemical composition, deposits of potassium salts, technogenesis, geochemical indicators.*

References

- Bachurin B.A.* 2007. Geokhimicheskaya transformatsiya otkhodov gornogo proizvodstva [Geochemical transformation of mining waste] In Mineralogiya tekhnogeneza–2017. Materialy nauchnogo seminara. Miass, pp. 177–188 (in Russian)
- Bachurin B.A.* 2006. Ekologicheskiye problemy gornopromyshlennykh rayonov Permskogo kraya [Ecological problems of mining regions of the Perm Region]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii*. 4: 32–35 (in Russian)
- Belkin P.A., Kataev V.N.* 2018. Zakonomernosti tekhnogennoy transformatsii khimicheskogo sostava podzemnykh vod v rayonakh razrabotki kaliynykh mestorozhdeniy [Regularities of the chemical composition of technogenic transformation of the groundwater in the areas of the potash deposits development] *Izvestiya UGGU*. 2(50): 55–64. (in Russian) doi 10.21440/2307-2091-2018-2-55-64
- Kudryashov A.I.* 2013. Verkhnekamskoye mestorozhdeniye soley. 2-e izd. [Verkhnekamskoye deposit of salts. 2nd ed.]. 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 feedstock industry]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 6. URL: www.science-education.ru/100-5249 (accessed 12.06.2018) (in Russian)
- Teterina N.N., Sabirov R.H., Skvirsky L.Ya.* et al. 2002. Tekhnologiya flotatsionnogo obogashcheniya kaliynykh rud [Technology of flotation enrichment of the potash ore]. Perm, p. 484 (in Russian)
- Titkov S.N., Mamedov A.I., Solovyov Ye.I.* 1982. Obogashcheniye kaliynykh rud [Enrichment of potash ore]. Nedra, Moskva, p. 216 (in Russian)
- Shchukova I.V., Ushakova E.S.* 2012. Podzemnyye vody Solikamskoy gradopromyshlennoy aglomeratsii [Groundwater of the Solikamsk urban industrial agglomeration]. *Internet-vestnik VolgGASU*. 2(22) (in Russian)
- Shchukova I.V.* 2014. Sovremennoye sostoyaniye podzemnykh vod rayona razvitiya solyanogo karsta na territorii Permskogo kraya [Current state of groundwater in the area of development of the salt karst in the Perm Krai]. *Sovremennyye naukoemykiye tekhnologii*. 12-1: 37–42 (in Russian)
- 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.