

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АГРОНОМИЧЕСКИХ РУД. ОБЗОР

К.г.-м.н. Е.П. Янин

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
г. Москва
yanin@geokhi.ru

В обзоре рассматриваются основные аспекты влияния разработки месторождений агрономических руд (т. е. природных минеральных образований, являющихся сырьём для производства минеральных удобрений или используемых для улучшения почвы в агрономических целях) на окружающую среду и ее основные компоненты.

Ключевые слова: месторождения, агрономические руды, окружающая среда, минеральные ресурсы.

ASSESSMENT OF THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF THE DEVELOPMENT OF AGRONOMIC ORE DEPOSITS

Yanin E.P.

The review examines the main aspects of the impact of the development of agronomic ore deposits (natural mineral formations that are raw materials for the production of mineral fertilizers or are used to improve the soil for agronomic purposes) on the environment

Key words: development, agronomic ore deposits, environmental, mineral resurs.

Введение

Термин «агрономические руды» введён Я.В. Самойловым (ученик В.И. Вернадского) в 1921 г. [41]. К агрономическому относят сырьё, требующее глубокой переработки: фосфатное (апатитовые руды и фосфориты), калийное (калийные соли), азот (извлекают в основном из промышленных газов при коксовании углей), серу (получают при очистке нефти и газа природного горючего, переработке сульфидных руд, сульфатов природных, газовых выбросов коксохимии и цветной металлургии, серных руд), а также неметаллические полезные ископаемые, используемые непосредственно (после предварительного измельчения), – мирабилит, бишофит, цеолиты, торф, сапропели, гипс, карбонатные породы, глины, пески и др. (так называемые местные агоруды) [17, 51]. Для изготовления микроудобрений используются отходы переработки медных, цинковых, кобальтовых, молибденовых, марганцевых и борных руд.

Сырьевая база и основные российские месторождения фосфатного сырья

Сырьевая база фосфатов России представлена двумя типами руд – апатитовыми и фосфоритовыми, причем чуть менее двух третей запасов приходится на долю апатитовых руд, составляющих основу фосфорной про-

мышленности страны [21]. Высокое качество и уникальность добываемого апатитового сырья позволяет России прочно занимать ведущие позиции на мировом рынке. Фосфоритовые руды практически не вовлечены в освоение, в основном, в силу низких технологических показателей. Количество заключенного в недрах страны сырья составляет немногим более 1,3 млрд. т (в пересчете на P_2O_5), представляя собой только около 2% мировых ресурсов, оцениваемых более чем в 67 млрд. т.

Апатитовые руды локализованы на территории восьми субъектов страны [21]. Наиболее значимые запасы (более 70% суммарных) сосредоточены в пределах Хибино-Ловозерской минерагенической зоны в Мурманской области. Основным центром горнодобывающей промышленности является группа из девяти месторождений высококачественных апатит-нефелиновых руд в пределах Хибинского щелочного массива, аналогов которых в мире к настоящему времени не выявлено. Суммарные запасы этих девяти месторождений составляют 447,5 млн. т (в пересчете на P_2O_5), при среднем содержании в рудах от 7,5 до 17,24%. Руды комплексные, помимо апатита содержат промышленные концентрации нефелина, эпирина, сфена, титаномагнетита и полевого шпата. К попутным полезным ископаемым относятся редкие, в том числе редкоземельные и щелочные металлы. Технологические параметры сырья отличаются высокими показателями: руды легкообогатимы за счет нахождения апатита в кристаллической форме, а низкое количество токсичных примесей позволяет выпускать из получаемого апатитового концентрата практически любые виды удобрений, пригодных для сельскохозяйственных угодий с повышенными санитарно-гигиеническими требованиями. Помимо апатит-нефелиновых руд в Мурманской области разведаны комплексные апатитсодержащие руды, приуроченные к Ковдорскому интрузивному массиву. Промышленные содержания фосфора связаны с комплексными апатит-магнетит-бадделитовыми рудами в карбонатитах. Апатит извлекается попутно с магнетитом и бадделитом, руды отличаются хорошими технологическими показателями.

В Государственном балансе запасов полезных ископаемых учтено 59 месторождений фосфатов, в том числе 22 месторождения апатитовых руд и 37 фосфоритовых руд, при этом забалансовые запасы учтены только на шести месторождениях – двух апатитовых и четырех фосфоритовых (рис. 1, табл. 1) [21].

Известно Ковдорское техногенное месторождение – «лежалые хвосты» обогащения апатит-магнетитовых руд и спецотвал апатит-штаффелитовых руд Ковдорского месторождения, а так же техногенное месторождение фосфоритов на участке складирования шламов Полпинского месторождения. В 2015 г. в Российской Федерации добыча апатитовых руд составила 5394 тыс. т (в пересчете на P_2O_5), производство апатитовых концентратов – 11,5 млн. т.

В нашей стране имеются также достаточно значительные ресурсы фосфоритовых руд местного значения («малые фосфаты»), к которым относятся желваковые фосфориты, ракушечные фосфориты, торфовианиты, фосфорсодержащие карбонатные породы, осадочные железные руды с повышенным содержанием фосфора [52]. Считается, что освоение фосфоритовых месторождений местного значения, особенно желвакового типа, оказывает слабое влияние на окружающую среду, прежде всего, с точки зрения ее химического загрязнения.

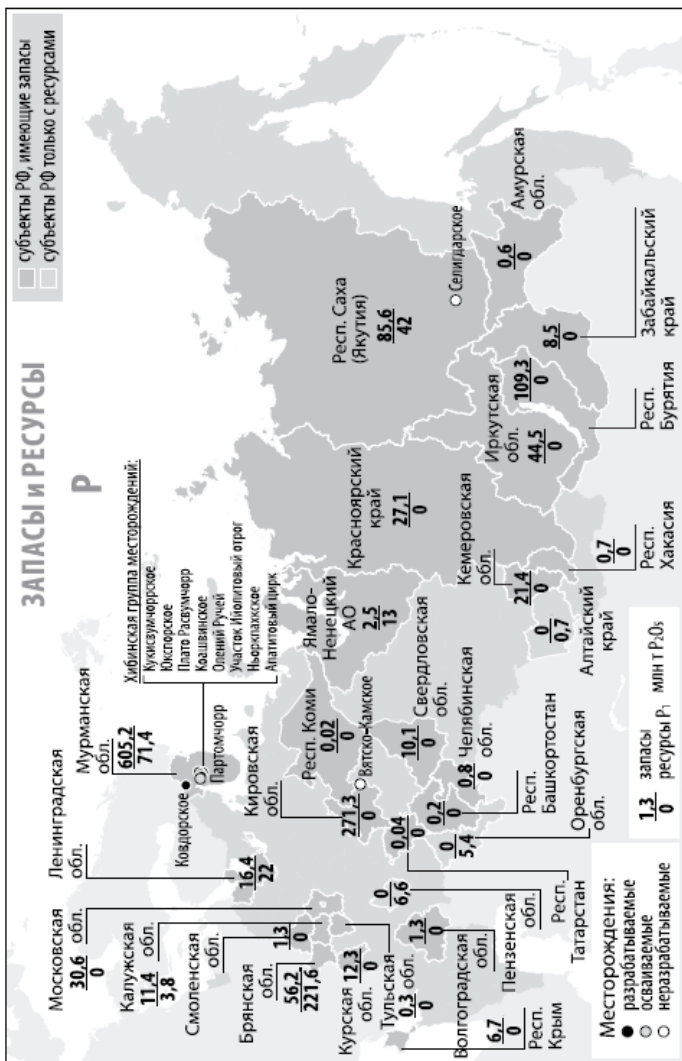


Рисунок 1. Основные месторождения фосфатных руд и распределение запасов и прогнозных ресурсов категории Р₁ пентоксида фосфора по субъектам России, млн. т Р₂O₅ [21].

Основные месторождения фосфатных руд России [21]

Месторождения	Геолого-промышленный тип	Запасы, млн. т P ₂ O ₅		Доля в балансовых запасах РФ*, %	Среднее содержание P ₂ O ₅ в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т P ₂ O ₅
		A+B+C ₁	C ₂			
Хибинская группа (Кулишвумчорское, Юкспорское, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Коашвинское, Ньюорпакское, Йидолитовый отрог), Мурманская обл.	Апатит-нефелиновый	297,5	22,2	24,1	15,1	3267
Ковдорское, Мурманская обл.	Бадделейт-апатит-магнетитовый	47,7	49,9	7,4	6,6	1318
Олений Ручей (Хибинская группа), Мурманская обл.	Апатит-нефелиновый	42,7	19,5	4,7	16,3	557
Партомчорр, там же	Апатит-нефелиновый	56,1	9,6	5	7,5	0
Вятско-Камское, Кировская обл.	Конкреционные фосфориты	100,7	170,7	20,5	12	0
Селигдарское, Саха-Якутия	Собственно апатитовый	85,6	0	6,5	6,7	0

* фосфоритовых и апатитовых руд.

Сырьевая база и основные месторождения калийных солей

Россия обладает очень крупной сырьевой базой калийных солей. Государственным балансом запасов полезных ископаемых Российской Федерации учитываются запасы калийных солей в количестве более 16 млрд т, включая более 3 млрд т запасов категорий А+В+С₁ [21]. Подавляющая часть запасов (98%) представлена солями хлоридного типа – сильвинитами и сильвинит-карналлитовыми рудами, на соли сульфатно-хлоридного типа приходится менее 2%. Качество хлоридных руд сравнительно высокое – среднее содержание К₂О в запасах разрабатываемых объектов составляет 17,2%.

В практическое освоение вовлечено чуть более 14% российских запасов калийных солей, что позволяет нашей стране занимать лидирующее положение по объему их сырьевой базы. В 2015 г. в России было добыто из недр 8,4 млн. т К₂О, производство калийных удобрений составило (по К₂О) 6,9 млн. т. В Государственном балансе запасов полезных ископаемых Российской Федерации по состоянию на начало 2016 г. учитывалось шесть месторождений калийных солей. В распределенном фонде недр находились двенадцать участков Верхнекамского месторождения, а также Гремячинское и Якшинское месторождения, Участки Нивенский-1 и Нивенский-2 (рис. 2, табл. 2).

Нетрадиционное агрохимическое сырье (местные агоруды)

Россия обладает существенными ресурсами так называемого нетрадиционного агрохимического сырья (ресурсами местных агоруд), к которым относятся цеолиты, бентониты, палыгорскиты, глаукониты, диатомиты, опоки и трепелы, сапропели, вермикулиты, перилиты, сынныриты, талькомагнезиты и др. [23, 28, 48]. В свое время в СССР прогнозные ресурсы этого сырья оценивались в десятки миллиардов тонн. По направлениям использования они разделяются на две основные группы [3].

Первая – природные адсорбционные материалы, которые могут использоваться как биостимуляторы в кормопроизводстве, кондиционирующие материалы, носители удобрений, гидропонные материалы и т. п. (цеолиты, бентониты, палыгорскиты и т. п.). Вторая – различные удобрения, применение которых в крупных масштабах неэффективно (сапропели, глаукониты и т. п.), а также новые виды сырья для производства минеральных удобрений (сынныриты). Практическая ценность многих из них не вызывает сомнений, а эффективность использования во многом зависит от близости источников сырья к районам хозяйственного освоения, быстроты и дешевизны его переработки.

Конкретные сведения о специфических геоэкологических и эколого-агрохимических последствиях разработки месторождений местных агоруд в доступной литературе практически отсутствуют. В то же время имеются данные об эффективности и благоприятном экологическом значении применения многих местных агоруд в сельском хозяйстве [1, 2, 15, 19].

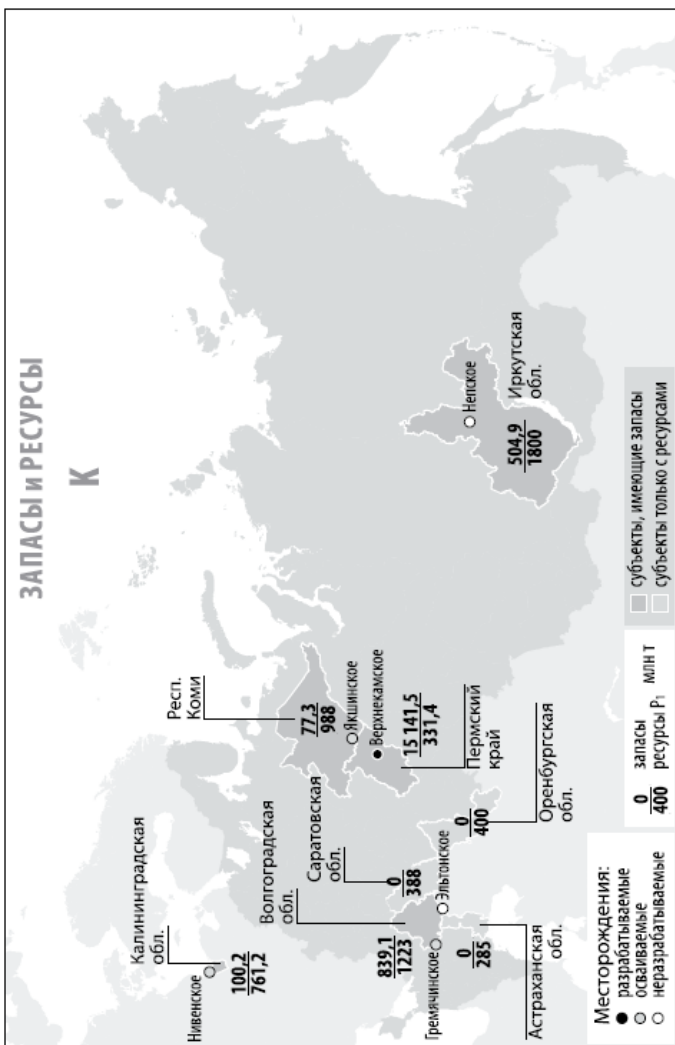


Рисунок 2. Месторождения калийных солей и распределение балансовых запасов и прогнозных ресурсов категории Р₁ по субъектам Российской Федерации, млн т К₂O [21].

Месторождения фосфатного сырья

С эколого-геохимической точки зрения различаются техногенные ландшафты в районах добычи магматогенных апатитов и осадочных фосфоритовых руд [24]. Кроме основного рудного компонента – фосфора, ландшафты в этих районах обогащены своеобразной ассоциацией химических элементов, содержащейся в рудах и слабоизученной в экологическом отношении. При добыче апатитов на Кольском полуострове это F, As, Y и редкоземельные элементы, Sr, Pb, Cd, Sn. Осадочные фосфориты обогащены Sr, редкоземельными элементами, F, Y, местами U и V. Как уже отмечалось выше, влияние добычи осадочных фосфоритов (оолитово-микрозернистых, зернистых, желваковых, ракушечных) на ландшафты в целом изучено очень слабо. Более основательно изучено влияние на загрязнение агроландшафтов продуктов переработки апатитовых и фосфоритовых руд – фосфорных удобрений [40].

Согласно давнему обобщению [18], концентрации меди в фосфоритах находятся в пределах 0–62 мг/кг, никеля 3–171, кобальта 0–69, ванадия 0–246 (иногда до 1%), хрома 3–208г, стронция составляют около 5000 мг/кг. Уровни фтора в фосфоритах рифея и кембрия Азии нередко превышают 3%. Многие фосфориты, особенно Северной Африки и США, содержат повышенные количества урана и редкоземельных элементов, местами вплоть до рудных концентраций, представляющих практический интерес для извлечения соответствующих металлов. Так, содержание урана в фосфоритах земного шара обычно колеблется от 0,001 до 0,02%, т. е. превышает его кларк в глинах в 10–200 раз. Часто высоким содержанием урана отличаются черные фосфориты, богатые органическим веществом (1–3%) и пиритом. Так, в черных фосфоритах Западного Вайоминга (США) запасы урана оценивались более чем в 1 млн. т. Фосфориты отличаются также повышенными концентрациями редкоземельных элементов – от 0,01 до 0,10%, в среднем около 0,08%. Повышенными содержаниями урана характеризуются фосфориты Татарстана [30].

В целом материалы минералого-геохимических исследований различных видов фосфатного сырья магматогенных апатитовых руд и осадочных фосфоритовых руд свидетельствуют о его значительном обогащении широкой ассоциацией элементов-примесей (F, Sr, Y, TR, U, иногда Pb, As, Zn, V, Cd, Mo, Hg) [40, 53, 54] (табл. 3). В зависимости от типа фосфатных руд наблюдаемые максимальные концентрации указанных в табл. 3 элементов могут в несколько раз превышать средние значения. Например, для пирит-содержащих ракушечных, глауконитовых и желваковых фосфоритов с повышенным содержанием железа типичны очень высокие концентрации As (до 40–300 мг/кг), Co и Ni (до 40 мг/кг), для фосфоритов Каратау – Pb, для сибирских зернисто-ракушечных фосфатов – Sr и редкоземельных элементов (до 3500 мг/кг). В апатите Хибинских месторождений в повышенных уровнях обнаружено 15 редкоземельных элементов (по интенсивности концентрирования преобладают La и Ce) и Sr. Фосфориты многих месторождений отличаются повышенными уровнями кадмия, фтора, стронция. По данным [25], экологическая значимость фосфатного сырья определяется, прежде всего, повышенными концентрациями в нем фтора, мышьяка, стронция, ртути, кадмия, урана и иттрия, существенное снижение которых достигается только лишь глубоким обогащением фосфатных руд.

Основные месторождения калийных солей России [21]

Месторождение, недропользователь	Геолого-промышленный тип	Запасы, млн. т К ₂ O		Доля в балансовых запасах РФ, %	Среднее содержание К ₂ O в рудах, %	Добыча в 2015 г., тыс. т К ₂ O
		A+B+C ₁	C ₂			
ПАО «Уралкалий»						
Верхнекамское, 6 участков, Пермский край	Хлоридные соли	1554,1	83,3	9,8	17,25	8410
ООО «Еврохим – Уольский калийный комбинат»						
Верхнекамское, 3 участка, Пермский край	Хлоридные соли	357,4	59,7	2,5	15	0
ЗАО «Верхнекамская калийная компания»						
Верхнекамское, 1 участок, Пермский край	Хлоридные соли	163	0	1	22,45	0
ООО «Еврохим – Волгакалий»						
Гремячинское, Волгоградская обл.	Хлоридные соли	313,3	92,4	2,4	24,59	0
ООО «Грейд Пром – Сервис»						
Якшинское, Республика Коми	Хлоридные соли	11,6	65,7	0,5	11,59	0
ООО «К-Поташ – Сервис»						
Участок Нивенский-1, Калининградская обл.	Сульфатно-хлоридные соли	31,3	18,1	0,3	11,57	0
ООО «Стриктум»						
Участок Нивенский-2, Калининградская обл.	Сульфатно-хлоридные соли	11,2	39,5	0,3	10,68	0
Нераспределенный фонд						
Вежекамское, 6 участков (частично)	Хлоридные соли	183,1	12740,8	78,2	14,7	0
Непское, Иркутская обл.	Хлоридные соли (сильвинит)	383,7	121,3	3	22	0
Эльтоское, Волгоградская обл.	Хлоридные соли	75,5	358	2,6	30,3	0

Сравнительная характеристика содержаний химических элементов в главных типах фосфатных руд и в фосфорных удобрениях, мг/кг (обобщение литературных данных [53])

Элемент	Фосфатные руды	Фосфатные удобрения	Суперфосфат	Кларк земной коры	Среднее в почвах мира
F	24000–35000	8500–38000	–	660	200
V	25–50	2–1600	20–180	90	90
Cr	20–50 (100) *	66–245	66–243	83	70
Mn	30–100 (500)	40–2000	–	1000	1000
Co	15–20	1–12	0–9	18	8
Ni	10–30	7–38	7–37	58	50
Cu	20–30	1–300	4–79	47	30
Zn	30–60 (300)	50–1450	50–1430	83	90
As	2–5	2–1200	1,2–2,2	1,7	6
Sr	300–500 (2000)	25–500	–	340	250
Y	50 (200)	–	–	29	40
Mo	2–5	0,1–60	–	1,1	1,2
Cd	0,5–1	0,1–170	–	0,13	0,35
Hg	0,1–0,2	0,01–1,2	50–170	0,083	0,06
Pb	15–20	7–225	–	16	35
Th	5–10	–	7–92	13	–
U	20–40	30–300	–	2,5	–
TR ₂ O ₃	1000	–	–	–	–

* В скобках – для российских месторождений.

Наиболее крупные месторождения магматогенных апатитов (апатито-нефелиновых руд) в нашей стране (и в мире) расположены в Хибинском массиве, где известно свыше 10 месторождений и проявлений, из которых эксплуатируются Кукисвумчоррское, Юкспорское, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Коашвинское и Ньоркпахское. Руда добывается тремя рудниками: Кировский, Расвумчоррский (подземная и открытая добыча) и Восточный (открытая добыча) с совокучными мощностями по добыче около 26 млн тонн руды в год. Обогащается руда на двух апатит-нефелиновых обогатительных фабриках – АНОФ-2 и АНОФ-3. Природные разновидности апатито-нефелиновых руд представляют устойчивую ассоциацию апатита с нефелином, сфеном, эгирином, титаномагнетитом и др. Руды хорошо обогащены, полукачественный из них методом флотации апатитовый концентрат – один из самых высококачественных фосфатных продуктов в мире (39,5% P_2O_5 , или 95% апатита). Хвосты апатито-нефелинового производства состоят из ценнейших компонентов, среди которых – апатит (4–8%), нефелин (55–65%), эгирин (7–10%), титаномагнетит (2–3%), полевые шпаты (8–2%) [34].

Подземные воды щелочных массивов Хибин обогащены F, Li, Nb, редкими землями, имеют высокую щелочность, способствующую миграции многих элементов-комплексообразователей, содержащихся в рудах [27]. По данным [33], гидрогеологические условия территории Хибинского массива характеризуются широким развитием поровых грунтовых вод в четвертичных отложениях, трещинных грунтовых вод в зоне выветривания в четвертичных отложениях и трещинно-жильных напорных вод тектонических трещин на глубине. Химический состав подземных вод зоны свободного водообмена преимущественно гидрокарбонатный натриевый с минерализацией 20–60 мг/л.

Проведение буровзрывных и погрузочно-доставочных работ при добыче и переработке апатит-нефелиновых руд в условиях Кольского Заполярья с использованием самоходного бурового и погрузочно-доставочного оборудования с дизельными двигателями обуславливает высокие концентрации токсичных компонентов пылегазовых аэрозолей [46]. Уровни оксидов азота в воздухе рабочих мест превышают ПДК до 5,5 раза, оксида углерода и тринитротолуола – до 1,5–2,0 раз. Среднесменные концентрации пыли находятся в пределах 3,45–8,60 мг/м³ (ПДК 6,0 мг/м³), хотя при выполнении буровых работ уровень запыленности может достигать 25,0–30,0 мг/м³ (превышение ПДК до 5 раз). Основными компонентами пыли (в % по массе) являются SiO_2 – 30,2; CaO – 18,2; Al_2O_3 – 15,2; P_2O_5 – 12,7; Na_2O – 7,7; Fe_2O_3 – 3,7.

Достаточно детальные исследования влияния разработки апатито-нефелиновых месторождений Хибин выполнены Д.И. Малиновским [33]. Согласно указанному автору, разработка месторождений привела к возникновению техногенных потоков химических элементов. Среди них важнейшими являются: 1) аэротехногенный перенос вещества, 2) миграция элементов в составе карьерных и рудничных вод, 3) вынос элементов от массивов отвальных пород поверхностным и подземным стоком.

Аэротехногенный перенос загрязняющих веществ оценивался по результатам изучения химического состава снежного покрова. Его картирование (с расчетом суммарного показателя загрязненности Z_c и показателя выпадения пыли Z_p) показало, что участки с высоким уровнем загрязнения локализуются вблизи массивов отвальных пород и действующих карьеров. Территории, прилегающие к площадкам горно-технических работ, характеризуются повышенным выпадением металлов по сравнению с фоном (табл. 4). Большая часть металлов в снежном покрове (в среднем до 70%) находится в составе пыли размером более 1,5 мкм).

Среднее выпадение металлов на исследуемой территории, мкг/м²/сут [33]

Металл	Фоновый участок	Вблизи Кировского рудника	Вблизи рудника Юкспор
Al	1315	2855	4147
Fe	1055	2613	3268
Mn	35	90	100
Sr	19,7	44,3	78,3
Zn	18,2	23,9	43,2
Cu	12,9	34,2	20,9
Cr	8,7	27,9	27,8
Co	0,5	1,8	1,2
Pb	2,9	6,7	6,9
Be	0,06	0,11	0,11

Потоки элементов в составе карьерных и рудничных вод образуются в результате поступления поверхностных и подземных вод в горные выработки, где они подвергаются загрязнению в процессе добычи руды. При откачке этих вод они проходят очистку, прежде всего, от взвешенных веществ, с которым связана значительная часть Al, Fe, Zn, Mn, Cu. Тем не менее в сточных водах, прошедших очистку, концентрации фтора, сульфатов, хлоридов, стронция, алюминия, железа, цинка, марганца, меди, натрия, калия, кальция, магния превышают фоновые значения для поверхностных вод. Для Al, Fe, Zn, Mn в этих водах доминирующей формой миграции является взвешенная (до 70–95% от вала). Оценка выноса элементов в составе поверхностного и подземного стока от массивов отвальных пород, основанная на экспериментальных исследованиях взаимодействия воды и образцов отвальных пород, показала, что атмосферные воды после инфильтрации через массивы отвальных пород приобретают повышенные концентрации F, Al, Sr, Mn и некоторых других элементов и их соединений. Учитывая большую площадь, занимаемую массивами отвальных пород (более 1 км²), повышенный вынос химических элементов подземным и поверхностным стоком от отвалов можно считать серьезным источником поступления поллютантов в природные воды. В грунтовом водоносном горизонте участки с повышенными уровнями некоторых поллютантов локализуются в непосредственной близости от поверхностных техногенных источников. Поступление поллютантов в местную озерно-речную сеть приводит к существенному возрастанию минерализации поверхностных вод и увеличению концентрации многих химических элементов и их соединений (табл. 5).

Наибольший вклад в загрязнение поверхностных вод вносит поступление сточных вод из прудов-отстойников очистных сооружений. В сезонной динамике распределения элементов в воде наблюдается резкое возрастание концентраций Al, Fe, Mn, Zn при снижении концентраций главных ионов во время весеннего половодья на территориях, испытывающих влияние промплощадок рудников. Для Al, Fe, Mn, Zn характерно накопление в снежном покрове, испытывающем аэротехногенное загрязнение, в составе снеговой пыли. Во время весеннего снеготаяния происходит массовое поступление этих металлов в поверхностные воды с талыми водами. В загрязненных поверхностных водах наблюдается значительное увеличение доли

взвешенных форм металлов. В водоемах и водотоках в зонах влияния горнодобывающих предприятий валовые содержания Al, Mn, Zn, Sr, Cr, Cd, Pb, Ca, Mg, Na, K в донных отложениях однородного гранулометрического состава превышает фоновые значения в 1,5–3 раза (табл. 6). Для всех металлов, за исключением магния и стронция, фиксируется высокая степень корреляции между валовым содержанием и содержанием биодоступной формы.

Таблица 5

**Химический состав поверхностных вод исследуемой территории;
числитель – осенний период, знаменатель – весеннее половодье [33]**

Параметры	Фон	Водотоки в зоне влияния рудников		Озеро Умбозеро
		склоновый	приозерной низменности	
		мг/л		
Сульфаты	4,2 / 1,8	36 / 18	20 / 7,9	3,8 / 3,3
Хлориды	1,2 / 0,7	2,8 / 1,2	1,8 / 0,9	1,8 / 1,5
Нитраты	0,9 / 0,3	14,8 / 4,7	5,8 / 1,8	1,1 / 0,85
NH ₄ ⁺	1,3 / 1,0	2,6 / 2,6	90 / 3,9	4,8 / 1,2
Фтор	0,20 / <0,15	2,1 / <0,15	0,2 / <0,15	0,2 / <0,15
Фосфаты	<3,0 / < 3,0	1,8 / 3,0	4 / 3	6 / 3
Кальций	2,5 / 1,1	7,6 / 2,8	4,5 / 1,7	1,7 / 1,5
Магний	0,2 / 0,1	0,6 / 0,2	0,4 / 0,2	0,4 / 0,3
Натрий	7,5 / 3,1	27 / 13	16 / 6,6	5,8 / 5,6
Калий	3,1 / 1,4	8,1 / 4,2	5,1 / 2,2	1,4 / 1,2
		мкг/л		
Al	15 / 11	89 / 350	120 / 179	25 / 12
Fe	6,9 / 3,0	18 / 124	55 / 112	8 / 5
Mn	0,20 / 0,15	2,6 / 7,4	5,1 / 8,9	1,7 / 1,0
Sr	67 / 30	646 / 126	155 / 81	65 / 57
Zn	0,5 / 0,5	0,3 / 0,9	0,9 / 0,8	1 / -
Cu	0,7 / 0,4	0,4 / 1,4	0,9 / 1,4	0,7 / 1,4
Ni	0,1 / <0,1	0,3 / < 0,1	0,3 / 0,8	0,7 / 0,5
Cr	0,2 / 0,1	0,1 / 0,2	0,2 / 1,4	0,2 / -
Cd	0,1 / <0,1	0,2 / 0,1	0,1 / <0,1	0,1 / -
Co	0,1 / 0,1	0,1 / <0,1	0,2 / <0,1	0,2 / -

Таким образом, изучение распределения металлов по формам миграции в аэротехногенных потоках показало, что преобладающая часть исследуемых металлов находится в составе фракции аэрозолей >1,5 мкм. В результате аэротехногенного загрязнения территории в период весеннего снеготаяния происходит резкое увеличение концентраций Al, Fe, Mn, Zn в поверхностных водах за счет поступления этих металлов с загрязненных водосборов в составе талых вод. Атмосферные осадки после взаимодействия с отвальными породами приобретают концентрации Al, Fe и F, существенно превышающие фоновые значения для поверхностных и грунтовых вод территории. В поверхностных водах к зоне влияния горнодобывающего производства фиксируются повышенные уровни нитратов, фтора, алюминия, стронция, марганца, цинка и некоторых других ингрдиентов. Наибольший вклад в увеличение концентраций загрязняющих веществ в поверхностных водах оказывает поступление сточных вод из прудов-отстойников очистных

сооружений. В загрязненных водах наблюдается значительное увеличение доли взвешенных и нелабильных форм многих химических элементов. Для Al, Fe, Mn и Zn взвешенная и нелабильная формы являются преобладающими при водной миграции от площадок горнотехнических работ. В загрязненных водах в составе частиц 0,45–1,0 мкм мигрирует большая часть от общего содержания во взвесах хрома и никеля, а также 20 до 40% Zn, Fe, Mn, Cu и Co. В водоемах и водотоках в зонах влияния горнодобывающих предприятий фиксируются слабоинтенсивные (Кс 1,5–3) аномалии Al, Mn, Zn, Sr, Cr, Cd, Pb, Ca, Mg, Na, K. В грунтовом водоносном горизонте участки с повышенными уровнями некоторых поллютантов локализуются в непосредственной близости от поверхностных техногенных источников.

Таблица 6

**Химические элементы
в донных отложениях поверхностных водных объектах, мг/кг [33]**

Элемент	Фоновые	Испытывающие техногенную нагрузку
Al	60227	193182
Fe	13846	16731
Mn	3021	15106
Sr	428	526
Zn	54,2	74
Cu	94	50
Ni	9,8	14,1
Cr	14,2	28,3
Co	4,6	6,4
Cd	0,8	1,8
Pb	4,2	12,3
Na	1158	1351
K	1235	2161
Ca	20833	25000
Mg	11268	17606

Общая численность работников, непосредственно связанных с добычей и переработкой руды в суровых климатических условиях Заполярья, составляет в последние годы 5–6 тысяч человек. Охлаждающий микроклимат рабочих мест, общая и локальная вибрация, шум, пылегазовые смеси, работа в вынужденных и неудобных позах, применение взрывчатых материалов и различной горной техники создают повышенный риск возникновения профессиональных заболеваний и случаев производственного травматизма. Действительно, оценка профессиональных рисков для здоровья работников предприятий по добыче и переработке апатитовых руд в Кольском Заполярье показала, что несмотря на постоянную модернизацию технологических процессов, у работников горно-химической промышленности Кольского Заполярья сохраняется повышенный риск развития различных нарушений здоровья [46]. Установлено, что у работников отрасли в структуре профессиональных заболеваний преобладают болезни костно-мышечной (43,5 случая на 10 000 работников) и нервной (19,0) систем, а также нарушения слуха (17,3). По сравнению с другими работниками чаще (в 1,39–4,81 раза) развитие профессиональных заболеваний отмечено у горняков подземных рудников.

У этой группы работников чаще регистрируются и случаи производственного травматизма, в том числе со смертельным исходом. Таким образом, при современных методах добычи апатит-нефелиновой руды в Кольском Заполярье сохраняется повышенный риск профессиональной патологии и производственного травматизма, особенно у горняков подземных рудников.

Месторождения калийных солей

Основными факторами, влияющими на трансформацию природной среды в пределах разрабатываемых месторождений калийных солей, являются геохимическая специфика разрабатываемой толщи и особенности технологического процесса. Согласно металлогеническому районированию Пермского края [36], район распространения калийно-магниевого солей обогащён Na, K, Rb, Li, Cs, Fr, Be, Mg, Sr, Ba, Ra, Au, Pt и металлами платиновой группы. Некоторые районы развития месторождений калийных солей отличаются наличием залежей нефти в подсолёвых отложениях, что создаст определенные экологические проблемы при освоении таких объектов. Требования по промышленной безопасности при проектировании и проведении работ, связанных с геологическим изучением и разработкой залежей нефти в подсолёвых отложениях на площадях залегания калийных солей, изложены в соответствующем документе [37].

Одним из крупнейших в мире является Верхнекамское месторождение калийно-магниевого солей. Геологические запасы его оцениваются по карналлитовой породе в 96,4 млрд. т, по сильвинитам – 113,2 млрд. т, по каменной соли – 4,65 трлн. т. В контуре калийной залежи выявлено также около 30 нефтяных месторождений и структур, перспективных на нефть и газ с общими извлекаемыми запасами около 86 млн. т. Кроме того, в пределах ВКМКС имеются месторождения строительных материалов (глины, песка, гравия, щебня) и торфа. В последние годы в солях обнаружены содержания золота и других благородных металлов, представляющие промышленный интерес. В административном отношении месторождение расположено на северо-востоке Пермского края, на территории Красновишерского, Александровского, Добрянского, Соликамского, Усольского районов и территории г. Березники. Географически месторождение находится в бассейне среднего течения р. Камы, в районе Камского водохранилища, в основном на его левобережье. Месторождение приурочено к центральной части Соликамской впадины Предуральяского краевого прогиба [45]. Калийная залежь месторождения прослеживается с севера на юг на 140 км, с запада на восток – на 40 км. Ее площадь составляет около 3,6 тыс. км². Месторождение делят на три части: северную, центральную и южную. На месторождении детально разведаны одиннадцать участков. Четыре из них расположены в центральной части месторождения (Соликамский, Ново-Соликамский, Половодовский, Боровский) и семь – в южной (Березниковский, Дурьманский, Балахонцевский, Быгельско-Троицкий, Талицкий, Палашерский, Усть-Яйвинский). Общая площадь детально разведанных участков составляет 1055 км² (около 29% площади калийной залежи). Площадь месторождения разбурена скважинами по сети 4×4 км с некоторым сгущением на участках со сложным геологическим строением. Разработка запасов солей Верхнекамского месторождения ведется несколькими рудниками. Размеры шахтных полей на Верхнекамском месторождении калийных солей определяются в основном условными границами (так называемые технические границы). Формы шахтных полей близки к прямоугольным, а их размеры в длину и ширину

находятся в пределах от 6,2 до 17 км. На месторождении добываются сильвинитовая и карналлитовая руды. Минеральные удобрения экспортируются в десятки стран мира (92%), поставляются сельскому хозяйству (2%) и промышленности (6%) Российской Федерации. Обогащенный карналлит (магневые соли) и техническая каменная соль реализуются отечественным потребителям.

Разработка калийных месторождений и обогащение калийных солей сопровождается большими объемами отходов (сточные воды, избыточные рассолы, шламы, содержащие глину и отходы соли) [16]. В мировой практике наиболее часто используют следующие методы размещения этих отходов: укладка отходов соли на поверхности; задержание отходов, таких как избыточные рассолы и шламы в шламохранилищах или водоемах; управляемый сброс отходов из различных отстойников в реки и океаны; закладка отходов в выработанные подземные пустоты; закачка избыточных рассолов по скважинам в глубокие горизонты; использование отдельных составляющих отходов для различных нужд на месте или в других видах народного хозяйства. Автор цитируемой работы приводит данные зарубежных источников, что ориентировочные расчеты суммарного объема отходов, производимые ежегодно десятками калийными рудниками в Канаде (в настоящее время 9 рудников), работающими при полной добыче, составляют 15–25 млн. т твердых отходов, и 800–1000 млн. галлонов (3–3,8 млн. м³) рассолов. Заданный объем шламохранилища для одних только жидких отходов составляет приблизительно 3400-акровых футов ежегодно.

Особо следует отметить, что разработка калийных пластов на Верхнекамских калийных рудниках сопровождается выделением газа [45]. Газовыделения происходят в виде суфляров при бурении шпуров или скважин, а также в виде обычных газовыделений при различных горных работах, дроблении или разрушении соляных пород. Особенно интенсивные газовыделения происходят при выбросах и обрушениях. Газы в солевых породах находятся в двух формах: свободные – это газы, заполняющие всякого рода трещины и пустоты; микровключенные – заключенные в кристаллической решетке солей (внутрикристаллические газы) и в межкристаллическом пространстве. Свободные газы выделяются при механическом разрушении породы, а также по трещинам со свежесоблаженных поверхностей и подразделяются на внутрипластовые и приконтактные. Внутрипластовые газы делятся на поровые, находящиеся в порах и микротрещинах, и гнездовые скопления газов. Количество поровых газов зависит от трещиноватости породы. Наибольшую трещиноватость имеет карналлит, значительно меньшую – сильвиниты. Наличие поровых газов в основном определяет газонасыщенность калийных солей. Гнездовые (суфлярные газы) – это газы, заполняющие пустоты и трещины во внутренних частях пласта. Заполняющий их газ сильно сжат. Обнаруживаются гнездовые газы при бурении шпуров и скважин и встречаются во всех отработываемых пластах. Наибольшее их количество находится в карналлите. Приконтактные (коржевые) газы близки по типу к гнездовым, но отличаются тем, что приурочены к контактам пластов и по величине скопления близки к скоплениям гнездовых газов. При ведении подземных горных работ газ может выделяться с обнаженной поверхности массива (стенок, кровли и почвы выработок) из крупных трещин и пустот, из шпуров, а также из отбитой горной массы, находящейся в выработке. В этом случае будет выделяться в основном свободный газ, содержащийся в соединяющихся между собой порах и трещинах. Объем такого газа определяется эффективной пористостью и давлением га-

за. Из разрушенной соли может выделяться как свободный, так и микровключенный газ. По составу свободные газы представлены в основном тремя компонентами: водородом, метаном и азотом. В небольших количествах присутствуют углекислый газ, следы тяжелых углеводородов, сероводорода, тяжелые и легкие благородные газы. Газоносность калийных пластов и газообильность горных выработок в большей мере зависят от коллекторских свойств породы: объема и распределения пор и трещин: способности тонких пор сорбировать газ: формы пор и трещин и характера связи между ними. Все вместе они определяют скорость диффузии и фильтрации в породах и трещинах, а также проницаемость калийных пластов.

В составе калийных руд и каменной соли зафиксировано присутствие широкого спектра химических элементов, находящихся как в форме водорастворимых соединений (хлориды, сульфаты, карбонаты), так и связанных с минералами нерастворимого остатка. В процессе обогащения калийных руд создаются специфические геохимические обстановки (технологические геохимические барьеры), приводящие к концентрации этих соединений в глинисто-солевых шламах, размещаемых в шламохранилищах. Как показывают результаты исследований, эти шламы содержат широкий спектр поллютантов (тяжелых металлов, органических соединений) и служат мощными источниками загрязнения природных систем [4, 7–10]. Так, специфической особенностью руд Верхнекамского месторождения калийных солей (ВКМКС) – одного из крупнейших в мире – является высокое содержание в их составе легкорастворимых минералов (сильвинит, карналлит, галит) (рис. 3).



Рисунок 3. Географическое положение Верхнекамского месторождения калийных солей: 1 – города; 2 – реки; 3 – калийная залежь; 4 – соляная залежь [14].

Указанные минералы относятся к классу хлоридов, в составе которых основную роль играют Na, K, Mg, Cl, а в качестве элементов-примесей содержатся бром, бор, рубидий, йод и ряд других микроэлементов, включая тяжелые металлы, хотя содержания большинства из них заметно ниже кларковых уровней (табл. 7, 8). Тем не менее обращают на себя внимание высокие концентрации в шлаках кадмия, кобальта, свинца, а в нерастворимом остатке руды – повышенными уровнями меди, никеля, марганца, цинка, бария, ванадия. Естественно, что калийные руды и все отходы отличаются чрезвычайно высокими содержаниями брома (и, судя по всему, йода, бора, рубидия и некоторых других). По данным [5], пермский сильвинит содержит KCl (20–40%), NaCl (58–78%), CaSO₄ (0,1–0,9%), MgCl₂ (0,1–0,2%), H₂O (0,01–0,36%) и включает примеси Fe, Cu, Mn, Li, Ni, Ba, Zn, Cr. Анализ имеющихся на сегодняшний день сведений о геохимии тяжелых металлов в калийных рудах ВКМКС показывает, что часть из них присутствует в виде собственных минералов, другие же – являются примесными, изоморфно замещающая основной катион [12]. Это определяет их растворимость и масштабы возможного участия в техногенных потоках рассеяния.

Таблица 7

**Химические элементы в руде ВКМКС
и отходах калийных предприятий, мг/кг [12]**

Элемент	Калийные руды	Галитовые отходы	Глинисто-солевые шламы	Верхняя часть континентальной коры [22]
Барий	1,8–14,0	0,1–12,9	100–130	510
Ванадий	1,8–10,0	–	0–51,2	120
Железо	99–2200	90–380	1450–4200	40600
Кадмий	0,007–0,07	<0,1–1,8	3,4–5,5	0,64
Кобальт	–	<0,1–9,8	3–49	17
Марганец	21–100	4,1–35,0	29,4–79,8	770
Медь	0,2–7,6	0,9–4,5	0,8–24,2	39
Никель	0,8–7,6	0,21–3,9	3–39	50
Свинец	0,03–3,4	<0,1–3,1	5,8–57,2	17
Стронций	–	15–35	0–120	270
Хром	2,5–3,2	0,15–9,3	4,4–105	92,4
Цинк	1,3–46,0	1,8–11,6	0–92	75
Бром	260–780	200–560	450–1120	11

Так, например, сидерофильные (Fe, Ni) и литофильные (Mn, V, Ti) элементы содержатся преимущественно в виде таких труднорастворимых минералов, как хлорит, пирит, гематит, гидрослюда, что определяет концентрацию их основного количества (87–99%) в нерастворимом остатке руд. Халькофильные элементы Zn и Cu на 40–75% содержатся в растворимой части калийных руд в виде сульфатов и карбонатов; оставшаяся их часть, представленная в форме сульфидов, также концентрируется в нерастворимом остатке. Барий в карналлитах практически полностью находится в виде легкорастворимого нитробарита, в то время, как в сильвинитах, наоборот, – в виде труднорастворимых барита и виверита, что определяет его преимущественную концентрацию в нерастворимом остатке. Практически весь бром, находящийся в виде примесей в карналлите, сильвините и галите, нахо-

дится в водорастворимой форме. Соединения тяжелых металлов характеризуются различной растворимостью, что определяет масштабы их перехода в образующиеся отходы. При этом масштабы накопления и формы нахождения металлов в отходах во многом зависят от применяемой технологии обогащения. В процессе дробления и измельчения калийных руд проявляются механические и сорбционные геохимические барьеры, определяющие перераспределение микрокомпонентов по granulометрическим фракциям. После дробления измельченная руда поступает в процесс флотационного обесшламливания. Таким образом, большая часть содержащихся в калийных рудах тяжелых металлов в процессе их переработки переводится в глинисто-солевые шламы, сбрасываемые в шламохранилища. Загрязнение ими галитовых отходов, складированных в солеотвалах, весьма незначительно, т. к. большая часть этих поллютантов содержится в остаточных рассолах, которые отжимаются в процессе уплотнения и также поступают в рассолосборники и шламохранилища [7].

Таблица 8

Среднее содержание тяжелых металлов в калийной руде и отходах обогатительных фабрик, мг/кг [12]

Объект	Fe	Cu	Ni	Mn	Zn	Ti	Ba	V
Сильвинит	618	3	2	30	8	45	22	4
Нерастворимый остаток руды	25600	34	71	1100	130	1500	1000	176
<i>Флотационная фабрика</i>								
Галитовые отходы	320	2	1	31	11	14	3	2
Глинисто-солевые шламы	12500	34	24	410	46	650	900	70
Нерастворимый остаток руды	23500	51	41	870	89	1200	1200	110
<i>Галургическая фабрика</i>								
Галитовые отходы	490	2,5	2	29	8	17	13	3,4
Глинисто-солевые шламы	24220	33	25	310	40	940	900	75
Нерастворимый остаток руды	28800	55	40	460	140	1500	2600	120
Верхняя часть континентальной коры [22]	40600	39	50	770	75	3930	510	120

Основной отличительной особенностью флотации сильвинитовых руд является использование в качестве жидкой фазы насыщенных солевых растворов электролитов, что селективно ослабляет способность воды к разрушению ионных решеток некоторых минералов, а также препятствует отрыву сорбированных элементов, удерживаемых на поверхности минералов в качестве ионообменных компонентов [7, 47]. Другим фактором, определяющим перераспределение минералов в дисперсионной среде, является значение рН. Щелочная среда маточных растворов играет роль геохимического барьера, способствующего осаждению минералов, относящихся к гидроксидам и карбонатам, что приводит к накоплению в шламах ряда металлов. Существенную роль в накоплении металлов в глинисто-солевых

шламах играют органические флотореагенты, используемые в качестве флокулянтов (полиакриламид Аккофлок А97), собирателей (оксигенированные фенолы Неонол АФ 9-25, амины Ethomeen НТ/40) и депрессоров (мочевиноформальдегидная смола КС-МФ). Исследования показали, что большинство используемых на стадии шламовой флотации реагентов представляют сложные многокомпонентные смеси, в составе которых, наряду с декларируемыми рабочими агентами, присутствует широкий спектр других соединений [11]. Обращает на себя внимание высокое содержание в реагентах широкого спектра гетеросоединений, среди которых наиболее представительными являются О- и N-содержащие структуры. Большинство из этих реагентов относятся к категории синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ), что определяет специфику физико-химических процессов, протекающих в дисперсной системе «реагент – вода». Физико-химический эффект действия флокулянта состоит в активном взаимодействии с поверхностью глинисто-карбонатных примесей и формировании из них крупных флокул, что приводит к значительному уменьшению удельной поверхности шламосодержащей фазы. Имеются также сведения о способности полиакриламидов при определенной концентрации упрочнять структуру глинистых минералов, затрудняя доступ воды в их межпакетное пространство [47]. В результате данных физико-химических факторов диффузный вынос потенциально-опасных соединений из частиц нерастворимого остатка в растворяющую и транспортирующую среду затрудняется. Роль депрессоров и собирателей в формировании шламов носит близкий характер. Их молекулы, сорбируясь на поверхности шламовых частиц, создают плотное структурированное защитное покрытие благодаря притяжению не только к сорбенту, но и друг к другу из-за обилия в них функциональных групп. У «экранированной» таким образом частицы снижается способность к эмиссии соединений в жидкую фазу, несмотря на приобретаемую ею дополнительную гидрофильность. Таким образом, глинисто-соляные шламы представляют собой тонкодисперсную фракцию, содержащую нерастворимые соединения глинисто-карбонатных минералов (сульфиды, карбонаты, окислы, алюмосиликаты), обогащенную в процессе флотационного обесшламливания растворимыми формами тяжелых металлов, находящимися преимущественно в виде органо-минеральных комплексов с флотореагентами. Данный вид техногенно-минеральных образований обладает гидрофобными свойствами, что ограничивает миграционную способность содержащихся в них соединений [9, 10]. Установлено, что они характеризуются повышенным, по сравнению с исходными концентрациями в калийных рудах, содержаниями большинства тяжелых металлов (коэффициенты концентрации валового содержания достигают 1,4–2,3). Анализ форм нахождения металлов в глинисто-солевых шламах показал [4], что доля кислоторастворимых соединений (обработка проб 5 н. HNO_3 , разрушающая оксиды и другие соединения металлов) колеблется от 27 до 78%. Доля подвижных соединений (извлекаемых ацетатно-аммонийным буферным раствором) колеблется от 57–53% (Mn, Co) до 35–30% (Pb, Cu, Ni), достигая минимальных значений для Fe, Cr, Zn (15–16%). Еще более низким является содержание водорастворимых форм металлов (0,2–1,0% валового содержания), что подтверждает их нахождение в шламах в виде гидрофобных органо-минеральных комплексов. Переход металлов в подобные формы, характеризующиеся низкой растворимостью в водной фазе, приводит к тому, что доля их водорастворимых соединений в глинисто-солевых шламах становится даже ниже, чем в исходной калийной руде (коэффициенты

концентрации 0,13–0,87). Хранение подобных техногенно-минеральных образований в шламохранилищах под слоем рассолов практически исключает возможность их выщелачивания и включения металлов в миграционные потоки.

Эксплуатации месторождений калийных солей приводит к оседанию земной поверхности над отработанными месторождениями и отчуждению площадей плодородных земель в местах складирования отходов калийного производства [29]. Для размещения отходов занимаются значительные земельные ресурсы – суммарные площади солеотвалов и шламохранилищ калийного производства составляют более 1000 га, а с учетом перспективного развития калийного производства могут достигнуть 2–3 тыс. га [39]. Объекты отвално-шламового хозяйства являются постоянным источником загрязнения гидросферы – открытый сброс проточков в поверхностную гидросеть и фильтрация рассолов в грунтовые воды привели к формированию обширных ореолов засоления гидросферы, создающих угрозу источникам хозяйственно-бытового водоснабжения.

На калийных рудниках нередки аварийные затопления горных выработок в результате повышенного притока рассолов. Например, 19 октября 2006 г. на Березниковском калийном производственном рудопроявлении № 1 был зафиксирован повышенный приток рассолов [35]. Одновременно произошло увеличение содержания сероводорода в воздухе, превысившее допустимую норму. После этого был введен в действие план по ликвидации аварии. Мировой опыт показывает, что ни один из рудников, где начиналось протекание пресных вод, не удалось спасти. Аналогичные ситуации возникают и на пермских рудниках с роковой периодичностью в 10 лет. Так, в 1986 г. в Березниках произошло затопление Третьего рудника, в результате чего были потеряны огромные запасы руды, и 28 октября 2006 г., когда объемы поступления воды в Первый березниковский рудник увеличились в разы, шансов на его спасение фактически не осталось.

Хвостовое хозяйство калийного производства связано с устройством солеотвалов (терриконов) из твердых галитовых отходов обогащения руды, строительством и эксплуатацией шламохранилищ для складирования жидких глинисто-солевых шламов. Складирование отходов производства калийных удобрений сопровождается формированием активного пылевого загрязнения прилегающих территорий [42]. Отличительной особенностью галитовых и шламовых отходов является высокое (до 95%) содержание в них легкорастворимых в воде солей [29]. При воздействии атмосферных осадков на солеотвалы и шламохранилища образуются и накапливаются хлоридно-натриевые рассолы, что приводит к химическому загрязнению почв с тенденцией расширения площадей засоления. Кроме того, причинами распространения засоления на значительные территории являются ветровая и водная эрозия, а также выбросы соляной пыли от обогажительных фабрик, что усиливает общую картину засоления. Оседая на почве, соляные выбросы загрязняют верхний плодородный слой.

Старобинское месторождение калийных солей в Республике Беларусь – одно из крупнейших в мире и второе по величине на территории СНГ. Площадь его составляет 325 км²; общие запасы руды – 7,8 млрд. т; руда добывается подземным способом [20]. Выработка начинается в 500–800 м от Солигорска. Производство состоит из четырех обогажительных фабрик и пяти рудников (строится шестой). Добываемая руда имеет относительно невысокое содержание полезного компонента (хлористого калия), в среднем от 20 до 30%, в зависимости от обрабатываемого горизонта и системы раз-

работки [6]. Это определяет и образование значительного количества отходов при обогащении руды. Отходы переработки представлены двумя основными видами – твердыми галитовыми отходами и шламами галитовыми глинисто-солевыми. Твердые галитовые отходы обогащения складировуются в солеотвалах.

В процессе освоения месторождения почва подвергается массивированному техногенному давлению и, как следствие, в районе разработок почвенный покров представляет сложную систему техногенных трансформаций [6]. В результате формируется ландшафт из солеотвалов, высотой до 100 м и более [20], шламохранилищ глубиной 10–12 м. Перепады относительных высот составляют 115 м. Горные выработки активизируют просадочные процессы, площадь которых достигает 40 км². За весь период отработки месторождения добыто 1,2 млрд. т руды [6]. На поверхности в шламохранилищах накопилось свыше 830 млн. т отходов обогащения на общей площади свыше 1350 га [20]. Большое содержание (до 95%) в галитовых и шламовых отходах обогащения калийных руд легкорастворимых в воде солей является характерной для них особенностью [6]. Калийная пыль (10,25 т/год) и хлористый водород (24 т/год) являются специфическими поллютантами в зоне действия калийных производств. Источниками соляной пыли являются обогатительные фабрики, ветровая эрозия солеотвалов, инфильтрация загрязненных вод сквозь ложе солеотвалов и дамб хранилищ жидких и твердых отходов, сопровождающихся поступлением в окружающую среду соединений натрия, калия и хлоридов. Радиус распространения основного количества атмосферных загрязнителей с воздушными потоками достигает 2 км от источника выброса, а максимальное их количество – в радиусе 0,5–1,0 км. Загрязнение атмосферы вредными веществами происходит также и в результате работы вентиляторов для проветривания шахты, при работе отдельных технологических установок обогатительных фабрик, котельных, ТЭЦ. Раздувание солевых отходов ветром также приводит к загрязнению атмосферного воздуха. При добыче и переработке калийной руды в окружающую атмосферу выбрасывается также большое количество газов и пылеаэрозолей, имеющих сложный состав и распространяющихся на значительные расстояния [43]. Ежегодно ветровая эрозия с поверхности солеотвалов, состоящих на 91–95% из NaCl, способствует распространению около 6 т различного рода хлорсодержащих соединений, которые, в конечном итоге, попадают на поверхность почвы [44]. В результате растворения солей атмосферными осадками у основания этих солеотвалов образуются скопления рассолов (концентрация солей в них составляет более 320 г/л), которые при нарушении технологии утилизации или вследствие прорыва дамб обвалования могут проникать на прилегающие территории, что приводит к химическому загрязнению почв с тенденцией расширения площадей засоления. Установлено, что превышение ионов хлора в почве выше пороговой величины (0,3 мг-экв/100 г почвы) наблюдается весной, к осени засоленность почв уменьшается вследствие легкой растворимости пыли KCl атмосферными осадками. Миграция загрязняющих веществ отмечается как горизонтальная, так и вертикальная, что подтверждается засолением подземных вод. Главным направлением использования твердых галитовых отходов ОАО «Беларуськалий» с учетом их химического состава и объемов образования, является применение их в качестве противогололедной добавки. Так, галитовые отходы галургической переработки реализуются потребителям в виде готовой продукции «Концентрат минеральный – галит» в объеме около 1 млн. т в год [6].

Как уже отмечалось, на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей добытая руда обогащается флотационным и галургическим способами на обогатительных фабриках рудоуправлений [31]. Объекты его инфраструктуры оказывают существенное влияние на различные компоненты окружающей среды. В случае затопления шахт катастрофические последствия, сопровождающиеся просадками и провалами, охватывают значительную территорию.

Основной спецификой калийного производства является накопление значительного количества отходов в шламохранилищах и солеотвалах с рассолосборниками [7, 26, 39, 44]. Отходы представлены легкорастворимыми компонентами (хлоридами калия, натрия и магния) и содержат большое количество микроэлементов (стронций, марганец, никель, кобальт, хром, цинк и др.), а также реагентов, используемых для обогащения полезных ископаемых. В настоящее время на территории ВКМКС накоплено более 270 млн. т галитовых отходов и более 30 млн. м³ глинисто-солевых шламов [7]. Стоки и фильтрация из солеотвалов и шламохранилищ являются основными источниками загрязнения окружающей среды. Водные мигранты формируют ореолы загрязнения поверхностных и подземных вод. На загрязненных почвах происходит замена растительных сообществ на более устойчивые к повышенному содержанию солей и микроэлементов, что приводит к трансформации зональных ландшафтов. Кроме этого, горнодобывающая деятельность сопровождается выбросами различных загрязнителей в атмосферный воздух. С извлечением пород на поверхность возможно поступление радионуклидов.

Авторы [31] на основе анализа результатов исследований разработки аналогичных месторождений в Канаде, Германии, Беларуси и других странах, особенностей калийного производства и собственного опыта выделяют в районе воздействия разработок калийных месторождений три зоны:

- I. Зона значительного влияния. Данная зона приурочена к основным источникам техногенного воздействия проектируемого объекта на окружающую среду и чаще всего совпадает с территорией промышленной площадки.

- II. Зона существенного влияния. Со временем около накопителей отходов калийного производства формируются ореолы засоления почв, подземных и поверхностных вод. Их размеры и форма во многом определяются скоростью и направлением поверхностного и подземного стоков. В зону существенного влияния, как правило, входит санитарно-защитная зона (СЗЗ) объекта. Во многих случаях границами зон существенного влияния могут служить речные долины, дренирующие верхнюю часть потока подземных вод, загрязненных фильтрационными рассолами. Благодаря дренирующей функции рек засоление пресных подземных вод не распространяется на значительные площади. Речные долины обеспечивают транспорт солей вниз по течению. Поэтому зоны существенного влияния поверхностных вод имеют линейный характер и могут выходить за пределы СЗЗ. Площадь зоны может меняться в соответствии с развитием горных работ.

- III. Периферийная зона, в пределах которой показатели состояния окружающей среды близки к фоновым и могут быть обусловлены как разработкой месторождения, так и факторами, не связанными с калийным производством.

Указанное зонирование по интенсивности и специфике проявления техногенных воздействий авторы цитируемой статье рекомендуют использовать при организации системы мониторинга на территории эксплуатируемого месторождения калийных солей.

Основное техногенное воздействие разработки ВКМКС связано с проявлением процессов галогенеза, в результате которого происходит засоление почв, поверхностных и подземных вод [49]. Из всего многообразия ландшафтно-геохимических процессов наибольшей трансформации подверглись седиментогенез, в результате которого в донных отложениях рек происходит накопление техногенного вещества и биогенез со сменой зональной таёжной растительности на солеустойчивые виды. Поступление техногенных высокоминерализованных вод приводит к активизации сульфидогенеза и оксидогенеза. Эти процессы наблюдаются как в донных отложениях, так и в местах площадной разгрузки грунтовых вод в долине реки. Наибольшей трансформации подвергаются подчинённые наземные и аквальные ландшафты в районах добычи калийно-магниевых солей.

Природные поверхностные воды данного района в естественных условиях характеризуются гидрокарбонатно-кальциевой фацией с минерализацией 330 мг/л и pH 7,4 [49]. Подземные воды, в основном разгружающиеся на поверхность, относятся к шешминскому водоносному комплексу, характеризующемуся гидрокарбонатно-кальциевой фацией с минерализацией 263 мг/л и pH 7,6. Поскольку основными поллютантами при разработке калийных месторождений являются легкорастворимые соли, именно они активно мигрируют в поверхностных и подземных водах, формируя контрастные техногенные геохимические аномалии и распространяясь на значительное расстояние. Атмосферные осадки фильтруются сквозь тело солеотвала и шламохранилища и формируют техногенные стоки [49]. Стоки с солеотвалов характеризуются хлоридно-натриевым составом. Минерализация сточных вод составляет до 362 г/л с pH 6,6. Содержание хлоридов достигает 207 г/л, сульфатов 3,7, натрия 128, калия 20 г/л. Среди микроэлементов наибольшие концентрации достигают Sr, Mn, Rb, Br, Ba, Cr, Zn, Li, V и ряд других редких элементов. Стоки с шламохранилища также хлоридно-натриевого состава. Минерализация их составляет 139 г/л. Содержание хлоридов достигает 79 г/л, сульфатов – 2, натрия – 36, калия – 19 г/л. Среди микроэлементов преобладают Sr, Mn, Rb, Br, Ba, Zn, Li, V и др. Стоки с отвалов и шламохранилищ без очистки поступают в поверхностные и подземные воды, вызывая трансформацию химического состава приповерхностной гидросферы на значительной территории. Активная миграция техногенного вещества приводит к трансформации естественных ландшафтно-геохимических процессов. В частности, в районе воздействия солеотвалов и шламохранилищ гидрокарбонатно-кальциевая фация поверхностных вод сменяется на хлоридно-натриевую. Минерализация поверхностных вод достигает 14 г/л, концентрация хлоридов увеличивается до 9, натрия до 2,7 и калия до 1 г/л при pH 7,5. По превышению над природным фоном (в Кс) макрокомпоненты распределяются следующим образом: K^+ (894) > SO_4^{2-} (287) > Cl⁻ (285) > Na^+ (261) > Mg^{2+} (14) > Ca^{2+} (11). Микроэлементы имеют еще более интенсивное превышение над фоном (по Кс): Mn (580) > Pb (362) > Tl (107) > Ge (88) > Sr (60) > Rb (43) > Co (29). Несмотря на фильтрацию сточных вод солеотвалов и шламохранилищ через почву и грунты, трансформация химического состава подземных вод проявляется не менее ярко, чем поверхностных, особенно по содержанию основных водных мигрантов [49]. Минерализация достигает 11,6 г/л, концентрация хлоридов увеличивается до 6,9, натрия до 2,5 и калия до 1,2 г/л при pH 7,1. Среди макрокомпонентов наибольшие коэффициенты концентрации отмечены для K^+ (2046) > Cl⁻ (889,2) > Na^+ (275) > SO_4^{2-} (179,2) > Mg^{2+} (50,1). Среди микроэлементов превышения над фоном менее значительны, по значению Кс элементы располагаются следующим образом: Pb (87) > Sr (78) > Co (39) > Mn (7). Появ-

ляются многие редкоземельные элементы, которые не были обнаружены в природных подземных водах (Tm, Sm, Lu, Eu, Yb и др.). В результате поступления с поверхностным стоком высокоминерализованных сточных вод вблизи отвалов и в местах выхода высокоминерализованных подземных вод на поверхность в долинах рек формируются очаги почвенного засоления. Концентрация водорастворимых солей в почвенном растворе достигает 0,58%, что соответствует «сильной» степени засоления. Тип засоления содовосульфатный.

Как уже отмечалось выше, добыча калийных солей и процесс обогащения руды сопровождаются образованием значительных количеств отходов (свыше 70% от объема добываемой руды) с высоким содержанием в них водорастворимых солей. В шламохранилище поступают глинистый материал, вещество нерастворимого остатка в виде глинисто-солевого шлама и избыточные рассолы. Глинисто-солевые шламы на 35–40% состоят из водорастворимых солей и 60–65% из нерастворимого глинистого осадка. Рассолы имеют хлоридно-натриевый состав с минерализацией свыше 300 г/л [50]. Основной поток поллютантов из шламохранилища поступает с водной миграцией водорастворимых солей и примесей. Несмотря на геотехнические мероприятия, через тело шламохранилища происходит фильтрация рассолов и атмосферных осадков в подземные воды. В результате формируются значительные ореолы засоленных поверхностных и подземных вод. Авторы цитируемой работы исследовали влияние подобного шламохранилища на окружающую среду на примере одного из калийных предприятий ВКМКС. Объект исследования был построен в середине 1970-х гг. В качестве защиты подземных вод от загрязнения был использован глинистый экран. Значительное количество осадков (среднегодовая сумма осадков 650 мм), холодный климат и расчлененность рельефа способствуют активной водной миграции водорастворимых солей. Твердая фаза глинисто-солевой суспензии представляет собой нерастворимый остаток слявинитовой руды с примесью переизмельченного слявинита и галита [50]. В водной вытяжке вещества осушенной части шламохранилища преобладают ионы хлорида 70 г/л, натрия 33, калия 19,5, сульфатов 19,6, кальция 6,8 и магния 0,9 г/л. Поступление высокоминерализованных стоков шламохранилища в гидросферу происходит двумя путями: фильтрация сквозь дамбу обвалования и ложе шламохранилища. Засоленные воды разгружаются субаквально в русло реки и в виде восходящих родников, в том числе и на противоположном берегу реки. Это обусловлено тем, что борт долины реки, где расположено шламохранилище, сложен глинистыми породами, затрудняющими разгрузку. Фильтрующиеся через ложе шламохранилища стоки поступают в нижележащий шешминский водоносный горизонт или разгружаются в ближайшие дрены, формируя ореол засоления между шламохранилищем и руслом реки [13]. Фильтрации в шешминский горизонт способствует высокая плотность растворов (более 1 г/см³). По некоторым оценкам, на эту часть баланса приходится до 20% общих потерь из шламохранилища. В непосредственной близости от шламохранилища подземные воды меняют состав на хлоридно-натриевый с минерализацией свыше 40 г/л (табл. 9). При дальнейшей фильтрации через глинистые, местами доломитизированные известняки и мергели подземные воды несколько обогащаются кальцием, поскольку высокоминерализованные техногенные подземные воды активизируют процессы выщелачивания и ионного обмена в системе вода-порода более интенсивно, чем это происходит при фильтрации природных пресных вод. Вследствие этого в подземных и поверхностных водах на фоне высокого уровня хлоридного загрязнения увеличиваются содержания кальция, магния, сульфатов [50].

Химический состав вод в зоне влияния шламохранилища, мг/л [50]

Компонент	Сток из под дамбы шламохранилища	Соленый родник в долине р. Ленва	Река Ленва	ПДК _{рыбхоз}
pH	6,34 – 7,2	6,9 – 7,0	6,3 – 7,54	6,5 – 8,5
HCO ₃ ⁻	292,9 – 457,6	11,0 – 173,9	64,7 – 207,5	–
SO ₄ ²⁻	645,8 – 4189,7	191,0 – 421,5	73,0 – 1511,0	100
Cl ⁻	5540,0 – 42950	6950,0 – 22335,7	2930,5 – 12046,8	300
NO ₂ ⁻	0,34 – 10,28	0,2 – 2	0,1 – 12,3	0,08
NO ₃ ⁻	15,0 – 126,2	0,2 – 65,0	2,8 – 32,4	40
Ca ²⁺	721,4 – 2345,0	552,0 – 1625,0	601,2 – 1483,0	180
Mg ²⁺	145,8 – 321,0	117,0 – 5185,3	121,5 – 390,7	40
Na ⁺	7055,5 – 32142,0	2555,0 – 5856,4	963,5 – 5506,6	120
K ⁺	5168,8 – 23688,5	1228,0 – 10000,8	62,5 – 1580,0	50
NH ₄ ⁺	5,0 – 193,0	15,3 – 17,0	0,56 – 93,5	0,5
Сухой остаток	11487 – 74090	16460,0 – 39190,0	4591,0 – 21750,0	–

За сорокалетний период эксплуатации шламохранилища фильтрация через дамбу сформировала устойчивый сток высокоминерализованных вод по склону долины реки. Эти воды характеризуются хлоридно-натриевым составом, высокими содержаниями калия, повышенными уровнями соединений азота (следствие присутствия в материала шламохранилища различных гетеросоединений, среди которых, как отмечалось выше, преобладают O- и N- содержащие структуры) и минерализацией более 40 г/л [50]. В зоне разгрузки фильтрационных вод ниже шламохранилища сформировалось соленое болото. Концентрация водорастворимых солей в почвенном растворе достигает свыше 1,3%, что соответствует «очень сильной» степени засоления. Выход на поверхность загрязненных подземных вод в виде родников, площадной и субаквальной разгрузки, а также поверхностный сток высокоминерализованных вод в долине р. Ленва приводит к засолению самой реки и долинных экосистем, вследствие чего воды р. Ленва характеризуются хлоридно-натриевым составом, нейтральным pH, значительной минерализацией и высокими концентрациями многих компонентов, в том числе аммонийного азота. Засоление реки и близкое залегание хлоридно-натриевых подземных вод в долине реки приводит к резкому повышению содержания в долинных почвах Cl⁻, K⁺, SO₄²⁻, Na⁺. Содержание хлоридов в водной вытяжке почв увеличивается по сравнению с фоновыми почвами в 400 раз, натрия в 200 раз, калия в 7 раз. Таким образом, ухудшение экраняющих свойств материалов в основании дамбы и ложа шламохранилища оказывает комплексный эффект на состояние окружающей среды в районе исследуемого объекта. Фильтрационные стоки Na-Cl состава, с высоким содержанием азотных соединений приводят к трансформации химического состава подземных и поверхностных вод, развитию процессов засоления почв в долинных ландшафтах и на пути поверхностного стока.

Обилие атмосферных осадков и расчленённость рельефа изучаемой территории обеспечивают высокую степень водной миграции химических элементов [49]. В связи с этим возрастает роль донных отложений в перераспределении химических веществ в системе вода – донные отложения. В

водной вытяжке из донных отложений в зоне влияния шламохранилищ и солеотвалов преобладают хлориды – 28 г/л, натрий – 13 г/л, калий – 2,9 г/л при pH 7,2. Относительно фоновых значений (Кс) обнаружены превышения для Na^+ (137) > Cl^- (131) > K^+ (130) > SO_4^{2-} (79). Наибольшим значением Кс среди микроэлементов в донных отложениях обладает Mn (Кс 4). В донных отложениях рек накапливаются техногенные компоненты. Так, в донных отложениях р. Лёвны (ниже стока со шламохранилища) были обнаружены сферулы и железные агломераты. Отходы калийного производства содержат высокие концентрации железа. В галитовых отходах содержание железа изменяется от 380 до 990 мг/кг, а в глинисто-солевых шламах – от 1450 до 4200 мг/кг. Сточные воды солеотвалов и шламохранилищ обогащают поверхностные и подземные воды железом. В долинах рек в местах выхода высокоминерализованных грунтовых вод на поверхность резко увеличивается содержание Fe в водной вытяжке из почв до 88 мг/л.

Поступление высокоминерализованных хлоридно-натриевых фильтрационных стоков со шламохранилищ и солеотвалов Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей обуславливает не только загрязнение подземных и поверхностных вод, но и интенсифицирует процессы минералообразования в почвах и донных отложениях рек [32]. Фильтрующиеся стоки шламохранилищ и солеотвалов характеризуются хлоридно-натриевым составом, минерализацией от 30 до 400 г/л. Содержание хлоридов составляет свыше 50% от общей минерализации вод, натрия – 20–40%, калия – от 1 до 20%, сульфатов – 1–5%. В местах близкого залегания или выхода на поверхность загрязненных подземных вод в донных отложениях и почвах сформировались техногенные осадки охристого цвета, ниже горизонт представлен черной гелеобразной массой (мощностью от 5 до 30 см) с характерным запахом сероводорода. Анализ содержания сероводорода в почвах в местах площадной разгрузки высокоминерализованных подземных вод в долине рек, испытывающих высокую солевую нагрузку, показал увеличение концентрации сероводорода до 17 мг/кг, значение окислительно-восстановительного потенциала Eh снижается (от -156 до 197 мВ), развиваются резко восстановительные условия. Результаты рентгеноструктурного анализа почвенного разреза в местах выхода высокоминерализованных вод показали, что содержание галита, даже в условиях обводнения, достигает в сероводородном горизонте 24,6 мас%. В донных отложениях содержание сероводорода достигает 23 мг/кг. Значение показателя Eh изменяется от -198 до -249 мВ. При незначительных глубинах на поверхности донных отложений в кислородной обстановке формируется горизонт охристого цвета. Повышенное содержание сульфатов и железа в высокоминерализованных поверхностных и подземных водах, микробиологическая деятельность способствуют образованию в почвах и донных отложениях сульфида железа. В окислительных условиях на поверхности почвы (в донных отложениях в меньшей степени) железо сульфидов окисляется и образуются своеобразные «железные шляпы», состоящие на 70% и более из гидротетрита, гематита, магнетита и других железистых образований. Таким образом, техногенное минералообразование в почвенных горизонтах и донных отложениях при миграции высокоминерализованных хлоридно-натриевых вод связано с изменением форм железа, серы и осаждения хлорида натрия.

Солеотвалы являются не только источником загрязнения гидросферы, но и атмосферы. По оценкам некоторых предприятий калийной отрасли, с отвалов сдувается около 3,6 млн. т вещества в год [49]. При этом необходи-

мо учесть, что в зимнее время воздействие отвалов на химический состав атмосферного воздуха будет проявляться менее ярко из-за остановки процессов растворения на поверхности отвалов в период отрицательных температур [38]. Даже при отсутствии добывающего комплекса вблизи отвалов наблюдается увеличение содержания приоритетных поллютантов в атмосферном воздухе – хлорида калия и взвешенных веществ. Например, в населённом пункте, расположенном на расстоянии более 4 км от калийных предприятий, превышение предельно-допустимых максимально разовых концентраций в воздухе может превышать в 4 раза. Таким образом формируются площадные аномалии с повышенной минерализацией почвенного покрова [49].

Исследования химического состава снежного покрова на территории Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей в зоне влияния атмосферных выбросов Березниковских калийных производственных рудоуправлений свидетельствуют о том, что в талой воде фиксируются повышенные относительно фона концентрации компонентов, непосредственно связанных с добычей и переработкой солей – хлоридов, натрия и калия [14]. Установленные аномалии имеют локальный характер (не более 3 км), приурочены к территории промплощадок рудоуправлений и, как правило, не выходят за пределы санитарно-защитных зон предприятий (табл. 10). В атмосфере из техногенных источников поступают также диоксиды азота и серы, а также оксид углерода.

Таблица 10

Состав снежного покрова (таялая вода) на территории Березниковских калийных производственных рудоуправлений, 2011 г., мг/дм³ [14]

Участок	SO ₄ ²⁻	Cl	NO ₃ ⁻	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	ОМ*
БКПРУ-2	1,18*	4,41	1,98	1,69	1,8	0,44	14,99
	2,74**	44,34	2,59	16,53	16,06	0,70	90,77
БКПРУ-3	1,02	2,07	1,95	0,78	1,07	0,44	11,09
	2,16	17,79	2,76	6,06	6,58	0,87	40,54
БКПРУ-4	1,29	6,86	1,78	2,51	2,63	0,53	20,43
	3,74	87,88	2,36	22,76	41,68	1,70	171,81
Условный фон	2,51	3,84	0,31	0,27	<0,1	0,57	8,96
	3,00	4,48	0,40	0,41		0,71	10,70

* Минерализация; ** среднее; *** максимальное содержание.

На остальной территории исследований, включая точки, расположенные в непосредственной близости от границ санитарно-защитных зон, значения удельного запаса веществ в снеге не превышают средних значений для территории г. Березники и, как правило, условного фона. Высокая водорастворимость хлоридов калия и натрия в условиях гумидного климата, характеризующегося превышением суммы атмосферных осадков над испарением, обеспечивает высокую миграционную способность указанных соединений, что обеспечивает быстрое удаление возможного избытка солей из почвенного покрова, поэтому даже локальные очаги засоления не требуют специальных мероприятий по реабилитации.

Заключение

С эколого-геохимической точки зрения различаются техногенные ландшафты в районах добычи магматогенных апатитов и осадочных фосфоритовых руд. Кроме основного рудного компонента – фосфора, ландшафты в этих районах обогащены своеобразной ассоциацией химических элементов, свойственной апатито-нефелиновым фосфоритовым рудам. Апатитовые руды и осадочные фосфоритовые руды обогащены широкой ассоциацией элементов-примесей (F, Sr, Y, TR, U, иногда Pb, As, Zn, V, Cd, Mo, Hg). Подземные воды щелочных массивов Хибин обогащены F, Li, Nb, редкими землями, Na, имеют высокую щелочность, способствующей миграции многих элементов-комплексобразователей, содержащихся в рудах.

Проведение буровзрывных и погрузочно-доставочных работ при добыче и переработке апатит-нефелиновых руд обуславливает высокие концентрации токсичных компонентов пылегазовых аэрозолей. В воздухе рабочих мест уровни пыли, оксидов азота, оксида углерода и тринитротолуола многократно превышают уровни ПДК. При современных методах добычи апатит-нефелиновой руды сохраняется повышенный риск профессиональной патологии и производственного травматизма, особенно у горняков подземных рудников.

В результате аэротехногенного загрязнения территории в период весеннего снеготаяния происходит резкое увеличение концентраций Al, Fe, Mn, Zn в поверхностных водах за счет поступления этих металлов с загрязненными водосборами в составе талых вод. Атмосферные осадки после взаимодействия с отвальными породами приобретают концентрации Al, Fe и F, существенно превышающие фоновые значения для поверхностных и грунтовых вод территории. В поверхностных водах к зоне влияния горнодобывающего производства фиксируются повышенные уровни нитратов, фтора, алюминия, стронция, марганца, цинка и некоторых других ингредиентов. Наибольший вклад в увеличение концентраций загрязняющих веществ в поверхностных водах оказывает поступление сточных вод из прудов-отстойников очистных сооружений. В загрязненных водах наблюдается значительное увеличение доли взвешенных и нелабильных форм многих химических элементов. Для Al, Fe, Mn и Zn взвешенная и нелабильная формы являются преобладающими при водной миграции от площадок горнотехнических работ. В загрязненных водах в составе частиц 0.45–1.0 мкм мигрирует большая часть от общего содержания во взвесах хрома и никеля, а также 20 до 40% Zn, Fe, Mn, Cu и Co. В водоемах и водотоках в зонах влияния горнодобывающих предприятий фиксируются слабоинтенсивные (Кс 1,5–3) аномалии Al, Mn, Zn, Sr, Cr, Cd, Pb, Ca, Mg, Na, K. В грунтовом водоносном горизонте участки с повышенными уровнями некоторых поллютантов локализуются в непосредственной близости от поверхностных техногенных источников.

Основными факторами, влияющими на трансформацию природной среды в пределах разрабатываемых месторождений калийных солей являются геохимическая специфика эксплуатируемой толщи и особенности технологического процесса. В составе калийных руд и вмещающих пород присутствует достаточно широкий спектр химических элементов, находящихся как в форме водорастворимых соединений (натрия, калия, магния, хлора), так и связанных с минералами нерастворимого остатка. В качестве элементов-примесей могут находиться бром, бор, рубидий, йод, литий, железо, барий, ванадий, марганец, никель, медь, кадмий, кобальт, хром и ряд других

химических элементов, причем содержания некоторых из них нередко заметно превышают кларковые уровни. В процессе обогащения калийных руд создаются специфические геохимические обстановки, приводящие к концентрации этих соединений в глинисто-солевых шламах, размещаемых в шламохранилищах. Районы развития месторождений калийных солей часто отличаются наличием залежей нефти в подсолевых отложениях, что создает определенные экологические проблемы при освоении таких объектов.

Эксплуатация месторождений калийных (калийно-магниевого) солей приводит к оседанию земной поверхности над отработанными месторождениями и отчуждению площадей плодородных земель в местах складирования отходов калийного производства. На калийных рудниках возможны аварийные затопления горных выработок в результате повышенного притока рассолов. Затопления шахт сопровождаются просадками и провалами, которые могут охватывать значительную территорию. Разработка калийных пластов сопровождается активным выделением газов, которые представлены в основном тремя компонентами: водородом, метаном и азотом. В небольших количествах присутствуют углекислый газ, тяжелые углеводороды, сероводород, тяжелые и легкие благородные газы. Наиболее ярко техногенное воздействие разработок месторождений калийных солей связано с проявлением процессов галогенеза, в результате которого происходит засоление почв, поверхностных и подземных вод. Поступление высокоминерализованных вод приводит также к активизации сульфидогенеза и оксидогенеза. Вблизи отвалов и в местах выхода высокоминерализованных подземных вод на поверхность в долинах рек формируются очаги сильного почвенного содовосульфатного засоления. Наибольшей трансформации подвергаются подчинённые наземные и аквальные ландшафты, расположенные непосредственно в районах добычи. На загрязненных почвах происходит замена растительных сообществ на более устойчивые к повышенному содержанию солей и микроэлементов.

Разработка месторождений и обогащение руд сопровождается образованием больших объемов отходов – сточных вод, избыточных рассолов, шламов. Для размещения твердых отходов занимают значительные земельные ресурсы – суммарные площади солеотвалов и шламохранилищ калийного производства превышают 1000 га. Объекты отвально-шламового хозяйства являются постоянным источником загрязнения гидросферы – открытый сброс промстоков на поверхность гидросеть и фильтрация рассолов в грунтовые воды приводят к формированию обширных ореолов засоления гидросферы. Отличительной особенностью галитовых и шламовых отходов является высокое (до 95%) содержание в них легко растворимых в воде солей. Причинами распространения засоления на значительные территории являются также ветровая и водная эрозия и выбросы соляной пыли от обогатительных фабрик. Атмосферные осадки, фильтруясь сквозь тело солеотвала и шламохранилища, формируют сточных вод. Техногенные стоки с солеотвалов характеризуются хлоридно-натриевым составом и минерализацией до 362 г/л, содержанием хлоридов более 200 г/л, сульфатов около 4, натрия более 120, калия до 20 г/л, среди микроэлементов наибольшие концентрации характерны для Sr, Mn, Rb, Br, Ba, Zn, Li, V и некоторых редких элементов. Стоки с шламохранилища также хлоридно-натриевого состава, минерализация их составляет 139 г/л, содержание хлоридов достигает 79 г/л, сульфатов – 2, натрия – 36, калия – 19 г/л. Среди микроэлементов также преобладают Sr, Mn, Rb, Br, Ba, Zn, Li, V и др. Появляются многие редкоземельные элементы (Tm, Sm, Lu, Eu, Yb и др.), кото-

ры не характерны для природных подземных вод данного района. Поступление высокоминерализованных хлоридных натриевых фильтрационных стоков со шламохранилищ и солеотвалов интенсифицирует процессы минералообразования в почвах, а также в донных отложениях рек, резко меняет химический состав поверхностных вод.

Солеотвалы являются также мощным источником загрязнения атмосферы, особенно взвешенными веществами и хлоридами калия, что обуславливает формирование площадных техногенных аномалий с повышенной минерализацией почвенного покрова.

В общем случае в районе воздействия разработок калийных месторождений выделяются три зоны: 1) зона значительного техногенного влияния, которая приурочена к основным источникам техногенного воздействия проектируемого объекта на окружающую среду и чаще всего совпадает с территорией промышленной площадки; 2) зона естественного влияния, обычно связанная с накопителями отходов калийного производства, где формируются ореолы засоления почв, подземных и поверхностных вод, размеры и форма которых во многом определяются скоростью и направлением поверхностного и подземного стоков; 3) периферийная зона, в пределах которой показатели состояния окружающей среды близки к фоновым и могут быть обусловлены как разработкой месторождения, так и факторами, не связанными с калийным производством.

Литература

1. *Алиев Ш.А.* Нетрадиционные агроруды – эффективные удобрения // *Агрохимический вестник*, 2001, № 2, с. 35–38.
2. *Алиев Ш.А., Шакиров В.З., Нуриев С.Ш., Ахтямов А.П.* Экологическая оценка местных агроруд // *Агрохимический вестник*, 2000, № 2, с. 32–33.
3. Атлас нетрадиционных видов агрохимического минерального сырья СССР. – М.: Недра, 1989. – 64 с.
4. *Бабошко А.Ю., Бачурин Б.А.* Тяжелые металлы в отходах калийной промышленности // *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 2009, № 5, с. 369–376.
5. *Баранников В.Г., Кириченко А.В., Деметьев С.В. и др.* Калийные соли Западного Урала и их применение в лечебно-профилактических целях // *Военная медицина*, 2016, № 2, с. 98–103.
6. *Басалай П.А., Мартинович В.О.* Эколого-геологический анализ воздействия хвостового хозяйства горнорудных предприятий на окружающую среду на примере ОАО «Беларуськалий» // *Заочная междунар. науч.-практ. конф. Глобализация экологических проблем: прошлое, настоящее и будущее*, 12–13 июня 2017 г. // <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2017/gep2017/pages/Articles/202.pdf>.
7. *Бачурин Б.А., Бабошко А.Ю.* Эколого-геохимическая характеристика отходов калийного производства // *Горный журнал*, 2008, № 10, с. 88–91.
8. *Бачурин Б.А., Одицова Т.А.* Отходы горно-обогажительного производства как источники эмиссии органических поллютантов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 2009, № 7, с. 374–380.
9. *Бачурин Б.А., Одицова Т.А.* Оценка техногенно-минеральных образований горного производства как источников эмиссии органических поллютантов // *Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Тр. I Всерос. симпозиума.* – Чита: ИПРЭК СО РАН, 2006, с. 72–76.

10. *Бачурин Б.А., Одинова Т.А.* Поверхностно-активные вещества как источник загрязнения гидросферы горнодобывающих регионов // *Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Современное минералообразование: Труды IV Всерос. симп. и X Всерос. чтений пам. акад. А.Е. Ферсмана 5–8 ноября 2012 г. Чита, Россия.* – Чита, 2012, с. 72–76.

11. *Бачурин Б.А., Сметаников А.Ф., Хохрякова Е.С.* Эколого-геохимическая оценка продуктов переработки глинисто-солевых шламов калийного производства // *Современные проблемы науки и образования. Электронный научный журнал*, 2014, № 6.

12. *Бачурин Б.А., Хохрякова Е.С.* Технологические геохимические барьеры и формирование техногенно-минеральных образований калийного производства // *Мат-лы Всерос. конф. с междунар. участием «Эволюция биосферы и техногенез», VI Всерос. симп. с междунар. участием «Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий» и XIII Всерос. чтений памяти акад. А.Е. Ферсмана «Рациональное природопользование», «Современное минералообразование», посв. 35-летию ИПРЭК СО РАН (22–28 августа 2016 г., г. Чита, Россия).* – Чита: ИПРЭК СО РАН, 2016, с. 378–381.

13. *Бельтюков Г.В.* Основные источники загрязнения подземных и поверхностных вод на территории Верхнекамского месторождения калийных солей // *Вестник Пермского университета. Вып. 4 «Экология».* – Пермь, 1996, с. 128–140.

14. *Блинов С.М., Меньшикова Е.А., Батурин Е.Н. и др.* О составе снега на территории Верхнекамского солевого месторождения // *Лёд и Снег*, 2015, № 1 (129), с. 121–128.

15. *Блисковский В.З., Киперман Ю.А.* Агрономические руды. – М.: Знание, 1987. – 48 с.

16. *Богмалов А.В.* Гидрологические и технологические аспекты организации регулируемого отведения избыточных рассолов предприятий калийной промышленности в поверхностные водные объекты (на примере Верхнекамского месторождения калийных солей): Диссертация ... канд. технич. наук. – Пермь, 2016. – 188 с.

17. *Бок И.И.* Агрономические руды: основы их геологии и поисковые признаки. – Алма-Ата: Изд-во АН Казахской ССР, 1955. – 180 с.

18. *Бушинский Г.И.* Древние фосфориты Азии и их генезис. – М.: Наука, 1966. – 194 с.

19. *Голохваст К.С., Паничев А.М., Гульков А.Н.* Использование цеолитов в медицине и ветеринарии // *Вестник ДВО РАН*, 2008, № 3, с. 71–75.

20. *Горский Д.А., Хоменков К.А.* Оценка влияния добычи калийных солей на состояние окружающей среды в виде деформаций земной поверхности методами радиолокационной съемки в Республике Беларусь // *ГЕОМАТИКА*, 2012, № 4, с. 65–75.

21. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов российской федерации в 2015 году». – М., 2016. – 341 с.

22. *Григорьев Н.А.* Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. – Екатеринбург: УрО РАН, 2009. – 382 с.

23. *Дистанов У.Г., Михайлов А.С., Никоноров С.П. и др.* Нетрадиционные виды минерального сырья для сельского хозяйства. – М.: ВИЭМС, 1985. – 50 с.

24. *Касимов Н.С.* Экогеохимия ландшафтов. – М.: ИП Филимонова М.В., 2013. – 208 с.

25. *Киперман Ю.А., Скоробогатов В.И., Антонец Т.А. и др.* Эколого-геохимическая оценка агрономических руд и продуктов их переработки // *Горный информационно-аналитический бюллетень*, 1995, № 1, с. 44–48.

26. Колташиников Г.А., Клементьев В.П., Еременко Ю.П. Процессы засоления пород и подземных вод твердыми отходами калийных производств Солигорских комбинатов // Доклады АН БССР, 1979, т. 14, № 5, с. 443–446.
27. Крайнов С.Р. Геохимия редких элементов в подземных водах. – М.: Недра, 1973. – 296 с.
28. Кузьменко С.П., Романюха П.П., Савинков В.П. Нетрадиционное агрохимическое сырье юга Дальнего Востока. – М.: ВИЭМС, 1989. – 35 с.
29. Лапинская В.О. Способы снижения засоления земель в районах разработки калийных месторождений // http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/Conference/Other/2014/eko/SE_2014/pages/Articles/Lapinskaya.pdf.
30. Лыгина Т.З., Харитонова Р.Ш., Вассерман В.А. Мониторинг геологической среды и минерально-сырьевых ресурсов Республики Татарстан // Мониторинг, 1997, № 2, с. 15–23.
31. Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Основы мониторинга окружающей среды при разработке месторождения калийных солей // Инженерные изыскания, 2012. № 8, с. 8–18.
32. Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Минералы геохимических барьеров в зоне влияния отходов Верхнекамского месторождения калийно-магниевого солей // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: науч. чтения памяти П.Н. Чирвинского: мат-лы научн. конф. – Пермь: Перм. ун-т, 2016, с. 324–330.
33. Малиновский Д.Н. Особенности миграции загрязняющих веществ в районах разработки апатито-нефелиновых месторождений Мурманской области: Автореферат дис. ... канд. географ. наук. – Москва, 1999. – 22 с.
34. Павлов К.В. Модернизация старопромышленных регионов России // Вісник економічної науки України, 2014, № 3, с. 75–84.
35. Пермиков М.А., Васильева Е.Н., Гневанов П.В., Шамина Е.П. Модель затопления рудника БКПРУ1 ОАО «Уралкалий» // ArcReview. Современные геотехнологические технологии, 2008, № 3, с. 14–15.
36. Попов А.Г. Металлогенетическое районирование. Пермский край // Вестник Пермского университета. Геология, 2008, вып. 10 (26), с. 103–110.
37. Правила промышленной безопасности при освоении месторождений нефти на площадях залегания калийных солей (ПБ 07-436-02). Серия 07. Выпуск 5. – М.: ГУП «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. – 20 с.
38. Рочев А.В. Формирование минералогической зональности соляных отвалов на Верхнекамском месторождении калийных солей: Диссертация ... канд. геол.-мин. наук. – Миасс: Институт минералогии УрО РАН. 2000. – 106 с.
39. Савон Д.Ю., Шевчук С.В., Шевчук Р.В. Снижение воздействия отходов калийной промышленности на окружающую среду // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2016, № 8, с. 360–368.
40. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
41. Самойлов Я.В. Агрономические руды. – М.: Госиздат, 1921. – 23 с.
42. Сеимова Г.В., Фирсов Р.Г., Россошанский В.В. Пылевое загрязнение урбанизированных территорий при складировании отходов калийного производства и его влияние на здоровье персонала // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона», 2017, № 2 // ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2017/4228.

43. *Семак С.Г., Мойсеев К.С.* Экологические проблемы Солигорского горно-промышленного региона и вопросы охраны окружающей среды // http://media.miu.by/files/store/items/chperu/xiii/mim_studconf_xiii_02013.pdf.

44. *Смыччик А.А., Богатов Б.А., Шлемет С.Ф.* Геоэкология калийного производства. – Минск: Юнипак, 2005. – 204 с.

45. *Соловьев В.А., Секуцов А.И.* Разработка калийных месторождений: практикум. – Пермь: Изд-во Перм. нац. иссл. политехн. ун-та, 2013. – 265 с.

46. *Сюрин С.А., Чащин В.П., Шилов В.В.* Профессиональные риски здоровью при добыче и переработке апатитовых руд в Кольском Заполярье // *Экология человека*, 2015, № 8, с. 10–15.

47. *Тетерина Н.Н., Сабиров Р.Х., Сквирский А.Я., Кириченко Л.Н.* Технология флотационного обогащения калийных руд. – Пермь: Соликамская типография, 2002. – 484 с.

48. *Филько А.С.* Эффективные направления развития минерально-сырьевой базы агропромышленного комплекса. – М.: ВИЭМС, 1987. – 51 с.

49. *Хайрулина Е.А.* Техногенная трансформация ландшафтно-геохимических процессов в районе добычи калийно-магниевых солей // *Теоретическая и прикладная экология*, 2014, № 3, с. 41–45.

50. *Хайрулина Е.А., Максимович Н.Г.* Влияние шламоохранилища с соледержателями отходами на приповерхностную гидросферу // *Сергеевские чтения. Геоэкологическая безопасность разработки месторождений полезных ископаемых. Выпуск 19. Мат-лы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (4–5 апреля 2017 г.)*. – Москва: РУДН, 2017, с. 429–434.

51. *Хохлов А.В.* География мирового рынка агрономического сырья. – М.: Консалтинговая компания «Влант». – 2004. – 74 с. // <http://vlant-consult.ru/files/world-agro-2004.pdf>.

52. *Шубаков Г.Н.* Ресурсы фосфоритовых руд местного значения. – М.: ВИЭМС, 1990. – 26 с.

53. *Янин Е.П.* Источники и пути поступления тяжелых металлов в реки агроландшафтов. – М.: ИМГРЭ, 2004. – 40 с.

54. *Янин Е.П.* Источники и пути поступления тяжелых металлов в реки сельскохозяйственных районов // *Экологическая экспертиза*, 2004, № 4, с. 67–90