

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ РАЗРАБОТКИ КОРЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ

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 коренных месторождений алмазов на окружающую среду и ее компоненты. Все стадии создания и эксплуатации объектов алмазодобывающего комплекса сопровождаются нарушением естественных процессов – снежного, почвенно-растительного, поверхностных и грунтовых вод, изменением рельефа, созданием выемок, котлованов, карьеров, насыпей и т. д. Разработка кимберлитовых пород сопровождается выделением газов с примесями метана, водорода, тяжелых углеводородов, сероводорода, продуктов горения. В зонах влияния добывающих производств, отвалов и шламохранилищ в почвах накапливаются многие химические элементы), концентрации некоторых из них нередко превышают региональный фон в 10–50 раз. Зоны влияния прослеживаются в радиусе до 5 км от карьера (кимберлитовой трубки). Разработка кимберлитовых трубок может также активизировать процессы засоления почв. Сточные воды, образующиеся при разработке коренных алмазных месторождений, отличающихся высокой минерализацией, высокими содержаниями главных ионов, сероводорода, химических элементов, соединений азота и фосфора, взвешенных веществ. В поверхностных водотоках формируются достаточно протяженные зоны техногенного загрязнения, которое оказывает негативное воздействие на гидробионты.

Введение

Месторождения алмазов подразделяются на две большие группы: коренные (первичные), связанные с магматическими горными породами, и россыпные (вторичные), возникшие при разрушении коренных месторождений. Основным коренным источником алмазов являются кимберлиты и лампронты – щелочно-ультраосновные породы древних платформ, образующие преимущественно трубообразные тела, дайки и жилы, реже более сложной формы в плане, прослеживаемые на глубину до 2 км и более среди пород платформенного чехла и кристаллических образований фундамента,

характеризуются вертикальным и субвертикальным залеганием, склонением к центру, реже – флангу. Во всем мире они приурочены к древним платформам – Индийской, Китайской, Сибирской, Восточно-Европейской, Австралийской. Из россыпей алмазов можно выделить следующие геолого-генетические типы: делювиальные, пролювиальные, аллювиальные и морские (прибрежно-морские и шельфовые). Аллювиальные россыпи являются наиболее распространенными среди россыпных месторождений и ведущими по масштабу добычи алмазов из россыпей. Примерное распределение алмазных ресурсов между коренными источниками и россыпями — соответственно 85% и 15%. Особую группу составляют так называемые импактные алмазы, которые не подлежат гранке и используются только в технических целях [3, 6]. Импактные алмазы находятся в виде включений в импактитах (горных породах, образовавшихся при столкновении крупного космического тела, например метеорита, с Землей), а также в россыпях, образовавшихся при их разрушении. Утвержденные запасы этих алмазов в коренных и россыпных месторождениях во много раз превышают все выявленные запасы алмазных месторождений мира, вместе взятые.

Ресурсы и основные месторождения алмазов

Россия является крупнейшим в мире держателем запасов алмазов – Государственным балансом учитываются запасы драгоценных камней в количестве 1,19 млрд. каратов, при этом почти миллиард карат подсчитан по промышленным категориям А+В+С₁ [11]. Запасы алмазов разрабатываемых и подготавливаемых к эксплуатации российских месторождений, подсчитанные по международному стандарту, почти вавое меньше – 653 млн. кар., но, тем не менее, это самый высокий показатель в мире. Почти 94% отечественных запасов заключено в коренных кимберлитовых месторождениях, чуть более 6% – в россыпях. На Государственном балансе также числятся гигантские запасы алмазов импактного генезиса (268 млрд. кар.). Прогнозные ресурсы отечественных алмазов также достаточно велики. Руды отечественных алмазных месторождений в целом характеризуются высокими концентрациями камней, пять гигантских и крупных по масштабу кимберлитовых трубок содержат уникально богатые руды – более 3 кар/т. Качество алмазов, добываемых в России, среднее.

Более трех четвертей запасов алмазов заключено в недрах Республики Саха (Якутия), на западе которой расположены Центрально-Сибирская и Лено-Анабарская алмазоносные субпровинции [5, 11]. Общая площадь Якутской кимберлитовой провинции оценивается в более чем 800000 км² [25]. Здесь известно более 800 кимберлитовых тел, распределение которых крайне неравномерно и сосредоточены важнейшие месторождения страны: гигантские по масштабу кимберлитовые трубки Удачная, Юбилейная и Мир, крупные – Ботуобинская, Нюрбинская, Интернациональная, Айхал, Зарница, а также гигантские россыпи р. Эбелях и Нюрбинская.

Второй по значимости российский алмазоносный регион – Архангельская область, где расположена одноименная алмазоносная субпровинция – включает немногим менее четверти запасов алмазов страны [11]. Здесь разведано семь месторождений, шесть из которых объединены в группу им. М.В. Ломоносова (трубки Архангельская, имени Карпинского 1, им. Карпинского 2, им. Ломоносова, Пионерская и Поморская), и Трубка им. В. Гриба. Незначительное количество запасов алмазов (менее 0,1% российских) сосредоточено в россыпных месторождениях бассейна р. Вишера в

Пермском крае. В Иркутской области учитываются запасы объекта Инга-шетский участок Шелеховской алмазной россыпи в количестве 125,4 тыс. кар. со средним содержанием алмазов в песках 0,096 кар/куб. м. В Таймырском Долгано-Ненецком районе Красноярского края находятся уникальные месторождения импактных алмазов Скальное и Ударное, приуроченные к Поппигайской астроблеме, с суммарными запасами 268 млрд. кар.

Государственным балансом запасов Российской Федерации учитываются 82 месторождения алмазов, включая 26 коренных (24 кимберлитовых и два импактных) и 56 россыпных; в девяти из них (трех кимберлитовых и шести россыпных) учтены только забалансовые запасы (табл. 1, рис. 1). В 2015 г. добыча алмазов из недр в России составила 42,1 млн. кар.

Таблица 1

Основные месторождения алмазов России [11]

Регион, месторождение	Геолого- промышленный тип	Запасы, млн. кар.		Доля в балансовых запасах РФ, %	Добыча в 2015 г., млн. кар.
		A+B+C ₁	C ₂		
Республика Саха (Якутия)					
Трубка Удачная	Коренной	143,4	69	17,9	2,4
Трубка Мир	Коренной	135,2	3,3	11,7	2,7
Трубка Юбилейная	Коренной	132,6	6,7	11,7	9,2
Трубка Интернациональная	Коренной	40,2	4,5	3,8	4,2
Трубка Айхал	Коренной	22,6	10	2,7	2,8
Трубка Зарница	Коренной	7,2	26,6	2,8	0,3
Верхне-Мунское	Коренной	18,4	6,3	2	0
Трубка Нюрбинская	Коренной	41,3	7,2	4	4,8
Трубка Ботуобинская	Коренной	82,9	16,9	8,4	2,4
Нюрбинская россыпь	Россыпной	13,1	12,5	2	1,5
Россыпь р. Эбелях	Россыпной	21,1	2,2	2,8	1,96
Трубка Краснопресненская	Коренной	26	0	2,2	0
Архангельская область					
Трубка Архангельская	Коренной	51,8	0	4,4	1,08
Трубка им. Ломоносова	Коренной	47,88	4,34	4,4	0
Трубка Пионерская	Коренной	46,96	4,09	4,5	0
Трубка им. Карпинского 1	Коренной	29,6	0	2,5	1,3
Трубка им. В. Гриба	Коренной	69,58	113	6,8	2,9
Красноярский край					
Скальное	Импактный	94675	161429	–	–
Ударное	Импактный	5682	6198	–	–



Рисунок 1. Основные месторождения алмазов и распределение их запасов и прогнозных ресурсов категории P₁ по субъектам Российской Федерации, млн. кар. [11].

Особенности разведки месторождений

Разведка коренных месторождений алмазов на глубину проводится скважинами и горными выработками с применением геофизических методов исследований, рациональный комплекс которых определяется исходя из конкретных геолого-геофизических условий [30]. Методика разведки – соотношение объемов горных работ и бурения, виды горных выработок, способы и диаметры бурения, геометрия и плотность разведочной сети, методы и способы опробования – должна обеспечивать возможность подсчета запасов на разведанных месторождениях по категориям, соответствующим группе месторождений по сложности его геологического строения. Она определяется исходя из геологических особенностей рудных тел, уровня и изменчивости содержания, крупности алмазов и с учетом возможностей горных, буровых и геофизических средств разведки, а также опыта разведки и разработки месторождений аналогичного типа. Горные выработки являются одним из основных средств детального изучения условий залегания, морфологии, размеров, внутреннего строения рудных тел, границ и вещественного состава разновидностей руд, их валового опробования на верхних горизонтах месторождения, а также предназначены для контроля данных бурения и опробования скважин, геофизических исследований, отбора технологических проб и наработки партии алмазов, достаточной для определения их ситового состава, промышленной сортификации и стоимостной оценки.

Способы разработки коренных месторождений алмазов

Разработка коренных месторождений алмазов производится открытым, подземным и комбинированным способами [30]. При комбинированном способе границу отработки открытым способом устанавливают при помощи предельного коэффициента вскрыши, исходя из равенства себестоимости добычи полезного ископаемого тем и другим способом. Применяемые способы разработки зависят от горно-геологических условий залегания рудных тел, принятых горно-технических показателей, схем добычи руды и обосновываются в ТЭО кондиций. Алмазные месторождения трубочного типа, выходящие на дневную поверхность или залегающие неглубоко (до 100 м), разрабатываются открытым способом – карьерами первой очереди до глубины 250–300 м (трубки им. 23-го съезда, Дачная) и второй очереди до глубины 600 м (трубки Мир, Удачная, Сытыканская). Глубокозалегающие (> 200 м) месторождения и глубокие горизонты трубок (Интернациональная в России, Премьер в ЮАР) разрабатываются подземным способом, системой массового обрушения. Величина потерь и разубоживания, как правило, зависит от принятых способа и системы разработки и горно-геологических условий. Потери при открытой разработке коренных месторождений алмазов составляют 0,1–1%, разубоживание – 0,5–10%, при подземной разработке соответственно – 10–15 и 15–25%.

В России разработка коренных месторождений алмазов началась и продолжается в основном наиболее эффективным открытым способом. Открытый способ разработки алмазных месторождений останется главенствующим и в перспективе, хотя доля подземного способа, который начал с пуском в эксплуатацию рудника «Интернациональный» и будет постепенно, особенно с вводом рудников «Айхал», «Мир» и «Удачный» [32]. Например, в западном регионе Якутии открытым способом осуществляется отработка пяти крупных коренных месторождений: трубок «Удачная», «Зарница», «Юбилейная», «Комсомольская», «Нюрбинская». По мнению [8], дальнейшая эксплуатация указанных месторождений будет характеризоваться ухудшением экономических, горно-геологических, горнотехнических, гидрогеологических и газовых условий их разработки. Это связано с переходом на ряде месторождений на отработку запасов открытым способом на больших глубинах, что резко усложняет горные работы в стесненных условиях ограниченного карьерного пространства; с вовлечением в отработку коренных и россыпных месторождений, характеризующихся более низкими содержанием и стоимостью алмазов в минеральном сырье; с удаленностью месторождений от промышленных площадок. Тем не менее, по прогнозам, в Западной Якутии удельный вес открытого способа разработки кимберлитовых месторождений имеет тенденцию к снижению, и после 2025 г. этим способом будет добываться не более 25% от общего объема руды коренных месторождений (табл. 2).

Таблица 2

Соотношение (прогноз) объемов руды, добываемой открытым и подземным способами в Западной Якутии, % [9]

Способ разработки	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2025 г.
Открытый	98	92	70	62	25
Подземный	2	8	30	37	75

Особенностью российских горно-обогатительных комбинатов является то, что в их составе работают карьеры и рудники, которые по своим сложнейшим совокупным горно-геологическим характеристикам и параметрам, не имеют аналогов в мировой практике ведения горных работ [32]. К ним относятся: 1) наличие до глубины 350–400 м и более многолетнемерзлых пород; 2) присутствие в границах открытой и подземной разработки мощных пластов каменной соли, на ряде месторождений имеется по несколько водоносных горизонтов, агрессивные рассолы которых характеризуются концентрацией солей до 400 г/л, содержат сероводород, метан и другие вредные компоненты, полностью исключающие их сброс в речную сеть; 3) значительные глубины открытой разработки (карьер «Мир» – 525 м, карьер «Юбилейный» – 500 м, карьер «Удачный» – 610 м) при крутых (48–52°) углах откосов бортов карьеров; 4) наличие при подземной разработке дополнительно битумонефтепроявлений, опасность горных ударов и суффлярных выбросов метана и других газов. Кроме того, на некоторых месторождениях возможно присутствие потенциально полезных компонентов (оливина, пирита и циркона крупностью >3 мм) и вредных примесей (битума, магнетита, пирита, барита и др.), оказывающие существенное влияние на технологию обогащения кимберлитов [30].

В основе технологической схемы месторождений, обрабатываемых ОАО «АК «АПРОСА», лежит наиболее рациональный отечественный вариант технологии обогащения алмазосодержащих кимберлитов [20]: раскрытие алмазов из руды в мельницах самоизмельчения; додробливание промпродуктов наиболее щадящим методом – разрушением в валковом прессе высокого давления; первичное обогащение руды на модульных тяжелосредних установках; компьютерное управление оператором с диспетчерского пульты процессом и регулировка режимов работы основного технологического оборудования; внутрифабричный транспорт алмазосодержащих продуктов вертикальными и горизонтальными конвейерами, гарантирующими полную сохранность кристаллов алмаза.

Общие особенности воздействия на окружающую среду

В табл. 3 приведены данные, характеризующие структуру воздействия на окружающую среду основных направлений деятельности предприятий ОАО «АК «АПРОСА», разрабатывающего основные месторождения алмазов Якутии, а в табл. 4 качественно систематизированы основные источники и экологические последствия геологоразведочных и горнопромышленных работ. При проведении геологоразведочных работ осуществляются: транспортировка персонала и оборудования к месту проведения работ, необходимые подготовительные работы, сооружение водоотводов, проходка шурфов и канав для опробования, бурение скважин и другие горнопроходческие работы.

Основными воздействиями на окружающую среду при проведении геологоразведочных работ являются нарушения растительного покрова и изменения русел рек. Эти работы оказывают основное воздействие на нарушение земель (91,6%). Горнодобывающие работы включают в себя буровзрывные работы, транспортировку пустых пород и руд с содержанием полезного ископаемого, переработку и обогащение руды, организацию хвостохранилищ, складирование отходов. При открытой разработке месторождения негативное воздействие на атмосферу является значительным, поскольку при больших количествах взрывов и работе техники образуются значительные объемы пылегазовыбросов. Естественно, что при разработке

месторождений открытым способом формируется большое количество отходов, складываемых в отвалы. При обогащении на горно-обогатительных комбинатах основными воздействиями на окружающую среду является загрязнение атмосферного воздуха, также образуются отходы и значительные объемы сточных вод.

Таблица 3

Структура воздействия на окружающую среду геологоразведочных и горнопромышленных работ [26]

Виды работ	Выбросы в атмосферу, %	Сбросы в водоемы, %	Нарушенные земли, %
Геологоразведочные	11,7	10	91,6
Горнодобывающие	25	25	8,4
Обогащение	73,3	65	–
Итого	100	100	100

Таблица 4

Источники и экологические последствия воздействия производственного процесса ОАО «АК «АПРОСА» на окружающую среду [26]

Окружающая среда	Источники воздействия	Экологические последствия
Водоемы, подземные воды	Сброс дренажных и сточных вод. Остановка рек, перенос русла для разработки месторождения. Водозабор для производственных нужд.	Нарушение режимов водного бассейна рек и озер. Уменьшение запасов поверхностных и подземных вод. Загрязнение, ухудшение качество вод.
Воздух	Выбросы в атмосферу от стационарных и нестационарных источников	Загрязнение атмосферы
Земли, почва	Разработка горных выработок, строительство технических и бытовых сооружений. Буровзрывные работы. Организация хвостохранилищ. Прокладка дорог. Образование отвалов.	Нарушение растительного и почвенного покровов. Деформация земной поверхности. Ухудшение качества почв. Изменение ландшафта. Эрозийные процессы. Сокращения земель обитания животных.
Флора и фауна	Вырубка лесов. Нарушение растительного и почвенного покрова. Строительство. Изменение качества поверхностных и подземных вод. Загазовывание и запыление атмосферы. Производственные шумы и вибрация	Ухудшение условий обитания флоры и фауны. Сокращение численности животных, растений. Миграция животных. Снижение продуктивности лесного, рыбного хозяйства.
Недра	Горнопромышленная разработка месторождений. Буровзрывные работы. Извлечение горной массы. Сброс сточных вод. Остановка рек, изменение русла рек. Образование отходов производства.	Загрязнение недр. Образование отвалов и карстовых процессов. Деформирование горных массивов и земной поверхности. Снижение качества минерального сырья.

Практически все кимберлитовые карьеры характеризуются большой глубиной, высокими темпами углубления горных работ, значительной производительностью и интенсивными и масштабными горными работами. Размеры погашенных, обрабатываемых и проектируемых карьеров варьируют в широком диапазоне: глубина отработки – от 37,5 до 610 м; площадь карьерного поля по поверхности – от 9 до 360 га; продолжительность отработки карьеров – от 3 до 45 лет [9]. Как правило, глубина открытых горных работ при отработке кимберлитовых месторождений с площадью рудного тела до 2 га ограничена величиной 250–350 м. На кимберлитовых месторождениях с площадью рудного тела до 20 га, имеющих высокое содержание алмазов, эффективная глубина открытых горных работ ограничена диапазоном 500–600 м, перспективная – до 850 м. На месторождениях подобного типа и размеров, но с пониженным содержанием алмазов, эффективная глубина открытых горных работ не превышает 200–250 м. Опыт открытой разработки коренных месторождений алмазов показывает, что глубину практически всех обрабатываемых кимберлитовых карьеров неоднократно пересматривали в сторону ее увеличения (табл. 5). К настоящему времени проектная глубина кимберлитовых карьеров составляет от 125 до 610 м, что в 1,5–2 раза превышает первоначально принятую в проектах. В зависимости от размеров поперечного сечения рудного тела и ценности руды проектная глубина карьеров соответствует граничному коэффициенту вскрыши – от 13,3 до 24 м³/м³. При этом от 30 до 67% разведанных запасов руды обрабатываются открытым способом (табл. 6).

Таблица 5

Проектные параметры карьеров [9]

Карьер, сроки отработки (годы)	Глубина, м	Размеры по поверхности / по дну, м	Угол наклона бортов, градус	производительность	
				по руде, млн. т	по вскрыше, млн. м ³
Мир, 1956–2000	525	1200 x 1100 / 70 x 290	48 – 50	1,5	3,8
Айхал, 1961–1997	380	1000 x 550 / 350 x 50	48 – 50	0,7	2,2
Интернациональный, 1970–1980	285	620 x 560 / 30 x 40	45 – 46	–	5,5
Удачный, 1971–2012	610	2000 x 1800 / 900 x 460	30 – 39	8,5	24,0
Сытыканский, 1979–2000	435	900 x 720 / 30 x 25	52 – 54	0,5	0,07
Юбилейный, 1984–2025	500	2000 x 1260 / 515 x 250	43 – 48	11,5	15
Нюрбинский, 2000–2018	305	910 x 1100 / 120 x 310	37 – 42	1,2	6,0
Зарница, 2000–2025	200	870 x 800 / 200 x 200	42 – 48	3,0	0,04
Дачный, 2001–2004	140	300 x 300 / 30 x 40	40 – 44	0,2	1,0
Катока, 2001–2040	400	1650 x 1670 / 450 x 440	36 – 41	7,0	6,0
Комсомольский, 2002–2012	340	600 x 580 / 140 x 180	49 – 50	1,5	6,0
Ботубинский, 2006–2023	280	800 x 700 / 120 x 50	37 – 42	0,6	4,0

Соотношение запасов руды, обрабатываемых открытым и подземным способами [9]

Месторождение (трубка)	Глубина разведанных запасов, м	Глубина карьера, м	Контурный коэффициент вскрыши, м ³ /м ³	Соотношение запасов, %	
				открытый способ	подземный способ
Мир	1235	525	15,0	66	34
Интернациональная	1216	315	24,0	25	75
Айхал	890	350	24,0	46	54
Удачная	1400	610	18,6	67	33
Нюрбинская	570	305	19,8	55	45
Ботуобинская	480	280	13,3	30	70

С увеличением глубины карьеров резко возрастают объемы вскрышных работ и грузоперевозок, особенно в начальный период эксплуатации месторождения. Например, при разработке кимберлитовой трубки месторождения «Катока» (Ангола) в период с 1997 по 2004 г. было извлечено более 24,7 млн. м³ пород вскрыши и более 11,1 млн. м³ руды [18], причем если в 1997 г. эти показатели составили соответственно 317 тыс. м³ и 228,7 тыс. м³, то в 2004 г. – 6003,3 тыс. м³ и 2176,4 тыс. м³. Это одно из крупнейших по размерам и запасам коренных месторождений алмазов в мире. Форма трубки в плане округлая, размеры по поверхности – 990 x 915 м, площадь – 63,6 га. Разведочными скважинами установлено глубинное сужение трубки с падением бортов к центру под углами от 25 до 85°. Концессионная зона составляет 320 км². В карьере применяется углубочная транспортная система разработки с внешними отвалами на основе экскаваторно-автомобильного комплекса. Разработка вскрышных пород осуществляется экскаваторами с вместимостью ковша 5–7 м³ с последующей погрузкой в автосамосвалы грузоподъемностью 36 т. Рыхлаение крепких гнейсов производится буровзрывным способом. В качестве взрывчатых материалов используются штатные ВВ, производимые в Анголе. Добыча кимберлитовой руды производится безвзрывным способом, с рылением твердых включений бульдозером.

В общем случае воздействие разработки коренных месторождений сопровождается различными негативными явлениями, свойственными горно-промышленным территориям [34, 43]. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что все стадии создания и эксплуатации объектов алмазодобывающего комплекса сопровождаются нарушением и даже уничтожением естественных покровов – снежного, почвенно-растительного, поверхностных и грунтовых вод, изменением рельефа при планировке поверхности, созданием выемок, котлованов, карьеров, насыпей и т. д. Так, в настоящее время в районе месторождения «Мир» практически все геосистемы значительно преобразованы, а часть из них полностью уничтожена. Поверхность представляет, в основном, серьезно нарушенную хаотично отсыпанную вскрышными породами, изрытую территорию, покрытую многочисленными временными дорогами [39]. Диаметр карьера трубки «Мир» достигает 1200 м, глубина карьера – 525 м. Площадь отвалов более чем в два раза больше площади самого карьера. Добыча алмазоносной кимберлитовой руды на нем прекращена в июне 2001 г. В настоящее время на борту карьера ведётся строительство подземного рудника, для отработки оставшихся подкарьерных запасов, выемка которых открытым способом нерентабельна.

Воздействие на наземные ландшафты

В последовательности техногенных воздействий на мерзлые породы района месторождения «Мир» и в их неизбежных последствиях можно выделить первичные и вторичные [39]. Первичные воздействия преобразуют природную среду непосредственно, внося существенные изменения в состояние поверхности, реже – захватывают самые верхние горизонты пород. Последующая реакция природной среды, приводящая к серьезным изменениям мерзлых пород, относится к вторичным последствиям освоения. Происходящее при этом изменение характера теплообмена на поверхности мерзлых пород наступает очень быстро. В первую очередь меняются амплитуды температур на поверхности. На них реагируют глубины сезонного оттаивания фунтов. Подобные изменения фиксируются уже на второй, реже третий годы после воздействия. Повышение или понижение температур пород в последующем (3–5 лет) приводят уже к более серьезным изменениям мерзлотных характеристик. Приводораздельные плакоры с покрывающей их растительностью подвергаются рубке, раскорчевке и пожарам. Создание буровых площадок и просек для ЛЭП, топографических ходов, трасс трубопроводов приводит к существенным преобразованиям естественных ландшафтов. В результате происходит активизация экзогенных, в том числе криогенных процессов: морозобойного растрескивания, термокарста, пучения.

Все объекты воздействия и преобразованные ими территории могут быть разделены на два типа – линейные и площадные [22]. К категории линейных относятся трассы дорог, газопроводов, ЛЭП и т.д. Для них характерна значительная протяженность при незначительной ширине полосы акцентированного воздействия. Степень нарушенности напочвенных покровов зависит от типа линейного объекта. При этом термические и влажностные условия фунтов существенно меняются. Есть сведения [36], что глубины сезонного протаивания грунтов при техногенном нарушении напочвенного покрова возрастают в 3–4 раза. Максимальный ущерб наносится при подземной прокладке, когда не только уничтожается почвенно-растительный покров, но нарушается и значительный слой рыхлых отложений. Из площадных наиболее развиты объекты, относящиеся к системе горнопромышленного освоения. Их строительство и эксплуатация неизбежно связаны с нарушением поверхностных условий. В результате широкий комплекс криогенных процессов заметно активизируется, особенно это относится к процессам деструктивного характера – термокарсту и термоэрозии по повторно-жильным льдам, приводящим к просадкам и провалам глубиной несколько метров.

Серьезными источниками загрязнения прилегающих территорий являются отвалы разрабатываемых месторождений. Так, авторами [28] на территории промышленной зоны Мирнинского горно-обогатительного комбината (МГОК) и жилого сектора г. Мирный были обследованы четыре категории участков: почвы ненарушенных естественных ландшафтов; почвы ненарушенных ландшафтов, подвергшихся косвенному химическому загрязнению; почвогрунты селитебной территории г. Мирный и грунты промышленной зоны МГОК. В пределах ненарушенных ландшафтов проходилась почвенный разрез на всю глубину оттайки с отбором почвенных образцов из каждого генетического горизонта. На участках нарушенных ландшафтов закладывались точки опробования с отбором образцов из каждых 10 см по слоям на глубину до 40 см. Установлено, что в грунтах прозоны МГОК в повышенных уровнях накапливаются В, Sc, Zn, Ge, Ag, Mo,

коэффициенты концентрации которых относительно регионального фона находятся в пределах от 2,5 до 5,6. В отдельных точках, приуроченных к вершинам или подошвам отвалов МГОКа, содержания Ni, Cr, Zn, Mn, Cu и Co превышали региональный фон в 10–50 раз. В целом на исследуемой территории допустимая экологическая ситуация по значениям суммарного показателя загрязнения почвенного покрова наблюдается очень локально – только на участках естественных ландшафтов. Умеренно опасная и опасная ситуация по значениям суммарного показателя загрязнения почвенного покрова со значениями Zc от 40 до 95 занимает не менее 75% от всей исследуемой площади. Эта категория имеет две градации 32–70 стабильного состояния и 70–128 – участки с ярко выраженной тенденцией к накоплению поллютантов. К чрезвычайно опасным территориям относятся территории карьера трубки Мир и отвалов. По данным [37], в зоне влияния трубки «Ай-хал» (Мири́нский район Якутии), разрабатываемой карьером, в почвах (в радиусе до 5 км от карьера) отмечены повышенные концентрации меди, свинца, никеля, олова.

В работе [27] рассмотрены геохимические характеристики криоземов как основных компонентов северо-таежных ландшафтов и возможные изменения их при промышленной разработке Верхнемунского кимберлитового поля (Якутия). С региональной точки зрения Верхнемунское кимберлитовое поле выделяется по проявлению (в породах) повышенных (относительно кларка) содержаний фосфора, кобальта, лантана и бора ($K_k = 1,5–1,8$), несколько повышены уровни ниобия и никеля [42]. Непосредственно в кимберлитах трубок Заполярная и Комсомольская-Магнитная установлены проявления хрома, марганца, никеля, кобальта и ниобия, в меньшей степени свинца, цинка и лантана. На уровне эрозионного среза и в зависимости от него фиксируются вариации образующих аномалии элементов. В Верхнемунском кимберлитовом поле из числа элементов, типоморфных для кимберлитов, отмечены лишь Co, Nb и Ni. По данным [19], геохимические отличия кимберлитов Верхнемунского поля выражены в преобладающем значении Ni, Co, Mn.

По данным [27], в почвах Верхнемунского кимберлитового поля, сформированных в зоне экзоконтакта кимберлитовых трубок, происходит активное накопление В, Ti и Sc. Эти микроэлементы закономерно прослеживаются в составе золы наземной части растений. С эколого-геохимических позиций территория Верхнемунского кимберлитового поля находится в зоне формирования природной геохимической аномалии, проявляющейся в малоконтрастных относительно регионального фона содержаниях лито- и сидерофильных элементов, свойственных практически всем компонентам экосистемы (табл. 7). Однако не установлено даже локальных значительных превышений регионального фона по почвам, донным отложениям и воде, а также превышений нормативов ПДК.

Разработка месторождения активизирует процессы засоления почв, которые, по мнению [27], будут протекать при организации и функционировании хвостохранилищ в пределах аллювиальных ландшафтно-геохимических комплексов с развитием аллювиальных дерновых почв. В этих случаях возможно повышение концентрации кальция, причем не только с поверхности, как в других типах почв и ландшафтов, а по всему почвенному профилю. В микроэлементном составе почв и в наземной части растительности в результате пылевого рассеяния и растворения некоторых форм элементов с поверхностными водами и атмосферными осадками произойдет увеличение концентрации следующих элементов: Ti, Cr, V, Sn, Ga, Li, Nb, Y, La. В целом мож-

но прогнозировать увеличение в контактирующих природных ландшафтах концентрации сидерофильных, литофильных и халькофильных элементов. В общем случае территория Верхнемунского кимберлитового поля представляет собой природную геохимическую аномалию, генетически унаследованную от подстилающих пород, что отражается в особенностях состояния природного фона компонентов экосистем и является причиной изменчивости биогеохимических параметров естественных и техногенных ландшафтов. Природные ландшафты территории Верхнемунского кимберлитового поля характеризуются низкой устойчивостью к химическому загрязнению и соответственно слабой самоочищающей способностью, а также средней устойчивостью к деградации физико-механических свойств. Почвы территории Верхнемунского кимберлитового поля отличаются мелкопрофильностью и сильной щебнистостью с преобладанием разных подтипов криоземов и мерзлотных дерново-карбонатных деструктивных почв. В результате разработки коренных месторождений алмазов на территории Верхнемунского кимберлитового поля будет сформирован резко расчлененный техногенный рельеф, включающий денудационные и аккумулятивные формы техногенных ландшафтов, прогноз воздействия которых на почвы прилегающих территорий может быть выражен в изменении геохимических условий, активизации процессов засоления и накопления целого ряда микроэлементов.

Таблица 7

**Микроэлементный состав компонентов природных ландшафтов
Верхнемунского кимберлитового поля [27]**

Компоненты природных ландшафтов		Элементы, образующие аномалии
Подстилающие породы	раннепалеозойские	P, Co, La, B, Nb, Ni, Y, Li, Ag
	кимберлиты трубки Заполярная	Cr, Mn, Ni, Co, Nb, La
	кимберлиты трубки Комсомольская-Магнитная	Cr, Mn, Ni, Co, Nb, Pb, Zn
Почвы	элювиальных ландшафтов	Sc, La, Bi, Be, Nb, Y
	трансэлювиальных ландшафтов	Bi, Be, La, Sc, Nb
	аккумулятивных ландшафтов	Bi, Be, La, Sc, Nb
Донные отложения	р. Уулаах Муна	Li, Ti, Mn, Sc, Cr, Y, V, Pb, Ni, P
	руч. Рудный	Li, Ti, Cr, Sc, Y, V, Pb, Ga, P
	руч. Онхой	Li, Ti, Sc, Mn, Y
Природные воды		Mn
Растительность		B, P, Cu, Zn, Ag, Pb, Mn

Следует отметить, что разработка кимберлитовых пород сопровождается выделением газов с высоким содержанием метана, примесями водорода, тяжелых углеводородов, сероводорода и продуктов горения (азота, диоксида углерода, инертных газов) [21].

По данным [13], содержание тяжелых металлов в продуктах убоя северных оленей в биогеохимических зонах Республики Саха (Якутия) значительно превышает ПДК (в 1,5–3,5 раза). Значительное колебание содержания тяжелых металлов авторы статьи связывают с особенностью распределения локальных выпадений выбросов в горнодобывающих и алмазодобывающих улусах, с миграцией солей тяжелых металлов по биологическим цепям, влиянием почвенно-климатических условий и низкой культуры земледелия.

Воздействие на водные системы

Разработка коренных алмазных месторождений Якутии сопровождается образованием сточных вод, отличающихся очень высокой минерализацией, прямой сброс которых на земную поверхность или в водные объекты приводит к резко отрицательным экологическим последствиям [17]. Объемы таких вод очень велики. Сейчас нередко практикуется их обратная закачка в толщи многолетнемерзлых пород, которые способны играть роль защитного экрана от зоны интенсивного водообмена [15, 16]. Например, на руднике «Интернациональный» с 2001 г. эксплуатируется полигон закачки для промстоков рудника с производительностью от 74 до 2822 м³/сут. Аналогичная ситуация существует и на Мирнинском ГОКе (рис. 2).

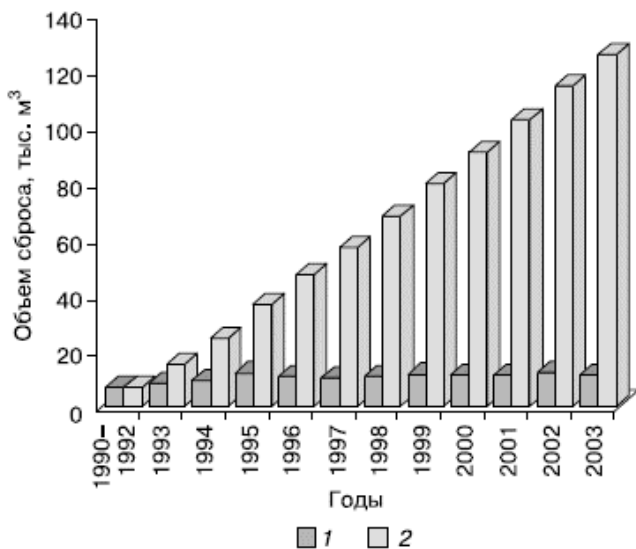


Рисунок 2. Объемы обратной закачки минерализованных стоков карьера Мир в подмерзлотный водоносный комплекс на полигоне ОПУ (по данным Мирнинского ГОКа) [14]: 1 – годовой; 2 – суммарный.

Минерализованные воды месторождений алмазов характеризуются высокими содержаниями многих химических элементов и их соединений. Примером является состав вод отработанного хвостохранилища Удачинского ГОКа [2], который расположен в бассейне р. Далдын и является одним из крупных объектов алмазодобывающей промышленности Якутии (рис. 3). Основными источниками загрязнения водных объектов района Удачинского ГОКа являются дренажные воды (рассолы), выкачиваемые из карьера трубки Удачной, жидкая часть пульпы хвостохранилища, радиоактивное загрязнение от подземного ядерного взрыва (ПЯВ) «Кристалл», а также хозяйственно-бытовые стоки [23]. Наибольшую экологическую опасность представляют дренажные воды карьера, которые могут попасть в речную сеть при несоблюдении технологии их закачки в подземные коллекторы и

при повреждении водоводов. Содержание в них ряда компонентов многократно превышает предельно допустимые концентрации. Особенности техногенного радиоактивного загрязнения данного района, обусловленные подземным взрывом в 1974 г. с целью создания плотины водохранилища, подробно рассмотрены в работе [5].



Рисунок 3. Местоположение (слева сверху) и загрязняющие объекты на территории разработок Удачинского ГОКа [23].

Хвостохранилище Удачинского ГОКа, расположенное от обогатительной фабрики (ОФ) № 12 на расстоянии около 1 км, эксплуатировалось с 1975 по 1989 г. [2]. За этот период в него было уложено 117 млн. м³ хвостов обогащения. Остаточная емкость хвостохранилища используется для аварийных сбросов пульпы ОФ. Общая площадь хвостохранилища составляет 3,8 км². Хвостохранилище овражного типа, до 1989 г. – намывное. Емкость хранилища образована путем перекрытия долины руч. Новый ограждающей дамбой, которая относится к гидротехническим сооружениям II класса. Высота ограждающей дамбы 62 м. Длина по гребню 4150 м. Отметка гребня + 358 м. Минимальная длина надводного пляжа 50 м. Пионерная дамба, дамбы обвалования и дополнительная пригрузочная призма выполнены из насыщенного щебеннистого грунта. Уровень воды в отстойном пруде в течение 10 последних лет колеблется в диапазоне 355–353 м. Объем воды в пруде 2,15 млн. м³. Минерализация воды в верхних слоях прудка колеблется от 5 до 18 г/л в летний и зимний периоды соответственно. В придонной части прудка минерализация воды может достигать 50 г/л. В нижнем бьефе хвостохранилища расположена маневровая емкость, которая также эксплуатировалась до 1989 г. Часть фильтрационных утечек воды из пруда хвостохранилища, поступающих в маневровую емкость, возвращаются обратно или перекачиваются на фабрику для технологических нужд. Безвозвратные потери фильтрационных утечек из хвостохранилища по подрусловому талику ручья попадают в р. Далдын. В состав системы отвода паводковых вод входит руслоотвод руч. Новый, расположенный на правом борту хвостохранилища, и нагорные каналы – для перехвата и отвода паводковых и поверхностных вод в обход хвостохранилища. Тело хвостохранилища слож-

но в основном песками: от крупнозернистых в зоне, прилегающей к ограждающей дамбе, до пылеватых в переходной зоне. Отложения прудковой зоны, особенно глубоководной части, сформированы супесями и суглинками. Воды хвостохранилища отличаются чрезвычайно высокими концентрациями главных ионов, многих химических элементов и их соединений (табл. 8).

Таблица 8

Химический состав вод хвостохранилищ Удачинского ГОКа [2]

Компонент	Карьер	Хвостохранилище на руч. Клиент	Хвостохранилище на руч. Новый, горизонты. м						Реки мира [10]
			0,5	0,5–1,0	1,0–1,2	2,0	3,0	3,5	
			лед			вода			
pH	6,05	6,3	6,7	5,4	5,8	7,6	7,3	7,0	
Ca ²⁺	68,5	2,5	0,087	0,067	0,081	0,53	0,53	0,54	0,0139
Mg ²⁺	11,97	0,81	0,056	0,042	0,052	0,032	0,30	0,31	0,0033
Na ⁺	15,6	1,44	0,078	0,060	0,075	0,57	0,46	0,47	0,0063
K ⁺	10,9	0,48	0,029	0,021	0,026	0,19	0,18	0,18	0,0023
Cl ⁻	202,4	9,13	0,59	0,470	0,540	3,7	3,60	3,60	0,0064
SO ₄ ²⁻	1,49	1,12	0,11	0,120	0,130	0,78	0,77	0,78	0,0119
				мг/л					
Mo	0,034	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,07	0,08	0,001
F	-	-	0,16	0,13	0,14	0,42	0,44	0,44	0,1
Br	6500	190	10	5	10	50	50	10	0,02
B	110,7	17,1	0,07	0,67	0,82	5	3,0	5,0	0,018
NO ₂ ⁻	0,1	1,9	0,023	<0,02	<0,02	<0,02	0,05	<0,02	
NO ₃ ⁻	22,4	29,5	0,16	0,22	0,38	7,0	2,0	14,2	
NH ₄ ⁺	299,5	8,21	0,49	0,34	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Fe	19,7	0,46	0,07	0,14	0,13	0,16	0,15	0,16	0,04
Al	0,46	0,04	0,07	0,14	0,06	0,27	0,3	0,25	0,05
Be	0,0012	0,0002	0,001	0,001	0,001	0,003	0,003	0,003	
Ba	0,42	0,49	0,035	0,026	0,001	0,11	0,11	0,12	0,04
Mn	5,2	0,11	0,01	0,010	0,010	0,031	0,031	0,033	0,01
Cu	0,045	0,014	0,01	0,012	0,015	0,027	0,033	0,025	0,007
Zn	0,56	0,04	0,018	0,018	0,018	0,053	0,048	0,059	0,02
Ni	1,20,04	0,1	0,0160,13	0,020	0,018	0,11	0,11	0,12	0,0025

Таким образом, обработка месторождения трубки Удачной сопряжена с неизбежным и заранее предполагаемым техногенным воздействием на окружающую среду. Последнее особенно связано с тем, что в результате дренажа рассолов на территории месторождения образовалось несколько крупных потенциально опасных источников загрязнения окружающей среды: карьер, хвостохранилища, маневровые емкости обогатительных фабрик и отвалы соленасыщенных горных пород. Так, из общего количества сточных вод – 16–25 тыс. м³/сут., поступающих от г. Мирного в р. Ирелях, на долю промстоков приходилось около 10% [29]. Основными источниками их являются обогатительные фабрики, драги и фильтрационные воды карьер-

ера. В сточных водах присутствовали общий азот, аммиачный азот, сероводород, нитриты, сульфиты фосфора и др. Влияние сбросов стоков отмечалось на протяжении 172 км ниже впадения р. Ирелях в р. М. Ботубую, в устье которой содержания ионов натрия, калия, хлоридов, сухого остатка, взвешенных веществ были (по сравнению с контрольным створом) в 1,5–6 раз выше. По данным [40], влияние сброса высокоминерализованных сточных вод Мирнинского месторождения прослеживалось на расстоянии до 150 км по увеличенной (на 30–80 мг/л по сравнению с фоном) минерализации речных вод. В воде рек Ирелях и Малая Ботубоя отмечались повышенные концентрации свинца, цинка, фтора, бора (близких или превышающих ПДК_{рх}). Концентрации свинца, хотя и не превышают ПДК, но его относительно повышенные уровни прослеживались в р. Вилюй ниже устья р. Малая Ботубоя на расстоянии 100–150 км.

Потенциальным источником загрязнения природной среды и особенно водных объектов являются хвостохранилища обогатительных фабрик, которые, по существу, представляют отстойники отходов обогащения руды [23]. При извлечении алмазов из рудного концентрата применяются различные реагенты, в том числе токсичные, которые из-за несовершенства технологий или по субъективным причинам могут попасть в ложе хвостохранилища. Хвостохранилище на руч. Новом создано путем сооружения дамбы, находящейся всего в 1,3 км от р. Далдын. Крупнообломочный состав пород, слагающих тело плотины, не препятствует фильтрации воды сквозь отсыпку и ее транзиту к базису реки. Процесс этот продолжается уже почти 15 лет. В зимнее время ручей, вытекающий из-под дамбы, образует наледь на поверхности первой надпойменной террасы. Минерализация его воды в истоке зимой достигает 7–8 г/л, а летом снижается до 4–5 г/л [1]. Определенную роль в загрязнении водотоков могут играть отвалы вскрышных пород, занимающие обширные площади. Их высота достигает 100 м. Разрез отвалов представлен крупноглыбовым материалом, состоящим из известняков, мергелей и доломитов [23]. В основании отвалов отмечена тенденция повышения температуры многолетнемерзлых пород, что обуславливает возможность образования под ними таликовых зон. Инфильтрация атмосферных осадков сквозь отвалы в летнее время сопровождается выщелачиванием легкорастворимых соединений, в результате в их основании формируются минерализованные таликовые воды. Зимой накопление легкорастворимых солей в жидкой фазе усиливается процессом криогенной концентрации. Например, минерализация воды впадающего в р. Далдын ручья изменяется от 1 до 3,5 г/л. В ее составе преобладают хлориды магния и кальция, содержание брома достигает 30 мг/л [1]. Таким образом, основной показатель загрязнения поверхностных водотоков в рассматриваемом районе – наличие в речной воде солей хлора и брома. Следовательно, эти элементы служат индикаторами загрязнения поверхностных вод района. Летом концентрация хлора и брома в речной воде составляла соответственно 30–40 и 0,5–1,5 мг/л при средней минерализации 250–280 мг/л. Зимой содержание этих компонентов возрастает соответственно до 180–190 и 3–4 мг/л [1].

Наблюдения, проведенные на р. Марха, в верховье которой расположены трубы Удачная и Айхал, позволили проследить изменения, связанные с поступлением загрязняющих стоков в основную дрену района [12]. В створе гидропоста Малькай, находящегося в 700 км ниже по течению от этих месторождений, загрязнение уже ослаблено. Долина р. Марха на этом участке практически безлюдна, а сама река принимает много притоков. При постоянной в целом величине минерализации воды (150–400 мг/л) содержание в

ней хлора в холодный период года вдвое превысило фоновое значение и составило 10–12 мг/л. Отмечены также следы брома. Рост содержания этих компонентов, особенно брома, в воде реки, вероятнее всего, связан с техногенным воздействием на поверхностную гидросферу. Как показали расчеты [23], допустимый сброс стоков в реку должен составлять 1,5–2,0% прогнозного объема притоков рассолов в карьер трубки Удачная. Поступление в гидросферу рассолов с расходом 32 м³/ч (8,9 л/с) при минерализации 320 г/л сделает невозможным водопользование на Мархе.

В 1984 г. на правом берегу р. Далдын из скважины более одного месяца проводилась откачка рассолов [1]. Минерализация воды на наливе составляла 340 г/л. При анализе проб речной воды, отобранных в 500 м ниже по течению, установлено, что к моменту завершения гидрогеологических работ минерализация воды повысилась до 1,7 г/л (фоновые значения 0,2–0,3 г/л), а гидрокарбонатный состав сменился хлоридным. При этом содержание брома в 50 раз превысило допустимую концентрацию, составляющую по нормативным документам 0,2 мг/л.

Особый интерес представляют результаты исследований В.В. Ходулова [38], который в 2000–2005 гг. изучал влияние алмазодобывающей промышленности на состояние рек и речных рыб в бассейне р. Анабар (реки Хара-Мас, Маят и Билях) и в бассейне р. Вилюй (р. Марха). В бассейне верхнего течения р. Марха разрабатываются кимберлитовые трубки «Айхал», «Удачная» и месторождения «Нюрбинское». В среднем течении р. Марха в августе 2003 г. им было отмечено превышение в воде ПДК_{рх} по нитритам в 1,4–4,4 раза, железу общему в 1,3–3,2 раза, азоту аммонийному в 1,1 раз, цветности в 1,3–2,5 раза, Fe в 1,6–16,7 раз, Mn в 12,8–90 раз, Cu в 1,3–2,5 раза, Zn в 1,5–3,1 раза и Al в 1,4–16 раз. Обобщение литературных данных, выполненное указанным автором, показало, что начиная с 1956 г. в течение более 20 лет в Вилюй сбрасывались высокоминерализованные стоки алмазодобывающей промышленности, содержащие сероводород, B, Ni, Fe, Cr, Cd, Tl, Sr, As и Hg. Это привело к тому, что ниже мест поступления стоков снизилась биомасса (в 21 раз) и численность (в 15 раз) бентосных организмов, упростилась структура зоопланктонных сообществ. Существенное влияние добыча алмазов оказывает и на водные экосистемы притоков р. Анабар. В водную среду попадают погребенные в аллювиальных отложениях элементы – продукты выветривания кимберлитов: Ti, V, Cr, Ni, Co, Nb, Cu, Zn, Pb, Li, Ag и Mo. В составе глинистых минералов, являющихся хорошими сорбентами, присутствуют Sr, As, Bi, Cd, Tl, Hg, Sb и др. Анализ сухого остатка воды из р. Билях в июле 2003 г. выявил повышение концентрации Al, Sr, Zn, Mn, Si, Cr, Ni, Co, Cd, Pb, Ag, As, Ti, Ba и B (рис. 4). Превышение ПДК_{рх} отмечено в фоновой зоне по Mn в 1,3 раза, по Al в 3,4–6,2 раза, по Zn в 3,6 раза, по Cu в 1,6–2,4 раза. В зонах воздействия и рассеяния превышение ПДК_{рх} по этим элементам увеличивается для Mn в 39,1 раза, Al в 36,6 раза, Zn в 5,7 раза, Cu в 7,0 раз.

В р. Хара-Мас в 2004 г. в зонах воздействия повысилось, по сравнению с фоновой зоной содержание в воде взвешенных частиц (до 61 ПДК_{рх}), железа общего (59 ПДК_{рх}), нитритов (7,5 ПДК_{рх}), аммонийного азота (10,5 ПДК_{рх}), кремния, фосфатов. Максимальные уровни загрязнения были отмечены в устьевой области. Численность планктонных организмов на этом участке снизилась в 5 раз, биомасса в 15 раз. В р. Маят в июле 2004 г. в зоне воздействия разработки месторождения (по сравнению с фоновой зоной) возросло содержание взвешенных веществ, азота аммонийного и нитритов. Снизилась биомасса бентосных (в 21 раз) и планктонных (в 33 раза) организмов. Если в пределах фоно-

вого участка вода по биотическому индексу Майера характеризовалась как умеренно-загрязненная, то в зонах воздействия – как загрязненная.

Существенное увеличение поступления минеральных взвесей в реки в зонах воздействия алмазодобывающих предприятий оказывает влияние на речных рыб [38]. Основной причиной загрязнения водотоков минеральными взвесями при разработке месторождений алмазов являются: промывание искусственного русла водоотводящих и нагорных канав, поверхностный сток с промплощадок и отвалов, инфильтрация через дамбы прудовотстойников и их аварийные прорывы. Так, в р. Биллях в результате прорыва дамбы на фабрике «Биллях» в июне 2005 г. образовался шлейф повышенной мутности протяженностью около 20 км, что привело к выпадению из биоценоза ряда организмов бентоса (личинок хирономид, жуков, ручейников и шиявки) и сокращению кормовой базы рыб. Результаты исследования содержания 12 металлов в органах 11 видов рыб в среднем течении р. Вилюй показали превышение ДОК (по максимальным концентрациям) в мышцах рыб для Co – у окуня (в 1,5 раза), у сига (в 2,1 раз), у плотвы (в 3,4 раз) и у щуки (в 3,7 раз); Cr – у налима (в 2,1 раз), у окуня (в 2,7 раз), у щуки (в 3,1 раз), у сига (в 3,3 раз), и у осетра (в 4,5 раза); Pb – у окуня (в 1,25 раза). В органах (мышцы, печень, почки, жабры) щуки, сига, ельца и плотвы (август 2003 г.) в р. Марха ниже месторождения «Нюрбинское», в момент исследования находившегося на стадии опытно-промышленной разработки, концентрации металлов оказались незначительными; превышений ДОК в мышцах не обнаружено. В рядах ранжирования металлов чаще лидировали Fe, Zn, Cu и Mn. В мышцах щуки и плотвы четвертое место занимала Hg, в жабрах плотвы – Pb, отмечались повышенные концентрации Cr и Cd. Было отмечено различие в распределении металлов по органам у рыб с разным типом питания (хищники – щука, бентофаги – сиг, плотва). У хищников содержание Hg и Pb, в отличие от бентофагов, было наиболее высоким в мышцах (рис. 5).

Зависимость содержания тяжелых металлов в органах рыб от уровня техногенной нагрузки установлена для бассейна р. Вилюй, где с вводом технологий оборотного водоснабжения в алмазодобывающей промышленности снизилось загрязнение водоема и, соответственно, содержание металлов в мышцах рыб (рис. 6).

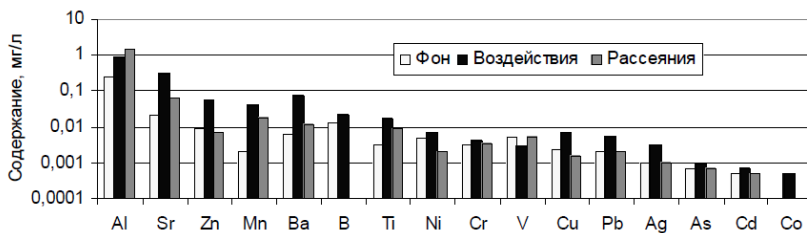


Рисунок 4. Изменение концентрации некоторых водорастворимых форм элементов по условным зонам в сухом остатке воды р. Биллях, июль 2003 г. [38].

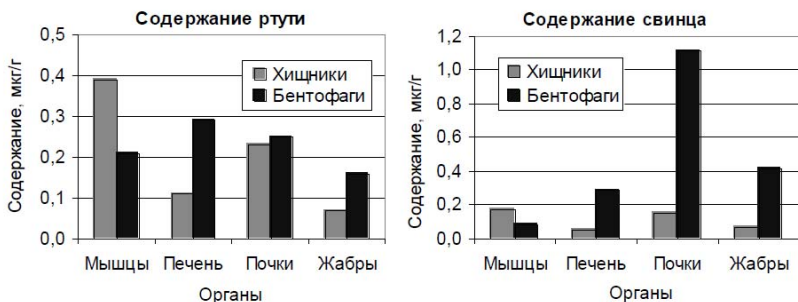


Рисунок 5. Распределение Hg и Pb в некоторых органах рыб с разным типом питания р. Марха, август 2003 г. [38].

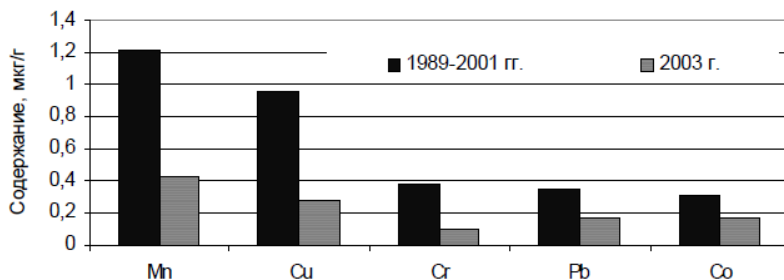


Рисунок 6. Среднее содержание металлов в мышцах рыб бассейна р. Вилюй [38].

Таким образом, при разработке месторождений алмазов происходит загрязнение рек взвесями, высокоминерализованными стоками, тяжелыми металлами, аммонийным азотом, нитритами и другими веществами. В органах рыб бассейна р. Анабар в районах добычи алмазов увеличивается содержание тяжелых металлов (Si, Zn, Cr, V, Pb, Hg, Sb, Co, Cd), поступающих в водотоки при промывке аллювиальных отложений. Выявлена тесная корреляционная связь между содержанием водорастворимых форм металлов в воде и в различных органах рыб. Загрязнение бассейна р. Вилюй высокоминерализованными стоками алмазодобывающей промышленности привело к высокому содержанию в мышцах рыб Mn, Cu, Cr, Pb, Co, Cd. С вводом бессточных технологий водоснабжения и снижением загрязнения реки концентрации этих металлов в рыбах заметно уменьшились (в 1,8–3,8 раз). В ряде случаев содержания тяжелых металлов (хрома сурьмы, кобальта, ртути) в мышцах рыб в водоемах алмазоносной провинции Якутии и в среднем течении Лены превышают гигиенические нормативы, установленные для пищевых продуктов. На загрязненных участках водоемов у рыб увеличивается частота встречаемости морфологических аномалий. Вследствие загрязнения рек минеральными взвесями при разработке россыпных месторождений

алмазов сокращается видовой состав и уменьшается биомасса зоопланктона (в 15–33 раза) и зообентоса (в 14–21 раз), что приводит к сокращению кормовой базы рыб. Рыбы переходят на более узкий спектр питания с менее ценными в пищевом отношении объектами.

Результаты изучения зоопланктона в апреле-августе 1989 г. в бассейне среднего течения р. Вилюй, находящегося под влиянием стоков алмазодобывающей промышленности, показали следующее [35]. Так, численность зоопланктона в Иреляхском, Стыканском водохранилищах и в фильтрационных водах обогатительных фабрик была крайне низка, причем видовой состав зоопланктона указывает на загрязнение (нематоды, олигохеты). В реках Ирелях и М. Ботубуя отмечено снижения видового разнообразия при доминировании хищных копепода и солоноватоводных коловраток. Длительное воздействие сбросов привело к снижению количества зоопланктона: в 1979 г. численность составляла 6,7 тыс. экз. на м³, а в 1989 г. – 0,14 тыс. экз. на м³. Соответственно, снизилась и биомасса: с 21,4 мг/м³ в 1979 г. до 0,5 мг/м³ в 1989 г. Сравнение полученных данных с результатом исследования зоопланктона в 1958 г. (до начала промышленных разработок) указывает на наличие качественных и количественных изменений естественных биоценозов зоопланктона в результате антропогенного воздействия.

Воздействие на человека

В работе [24] представлены результаты одномоментного скринирующего обследования организованной популяции горнорабочих алмазодобывающей компании «АЛРОСА», расположенной в Мирнинском районе Республики Саха (Якутия). С целью выявления распространенности и структуры основных форм периферических невропатий (ПН) осмотрены мужчины в возрасте 30–59 лет: горнорабочие (ГР), работающие в условиях воздействия производственной вибрации (ПВ) и функционального перенапряжения (ФП), и лица группы контроля (К), без контакта с вредными факторами труда. По результатам исследования распространенность ПП у ГР была выше, чем у К, и составляла 54,9% и 38,6% соответственно ($p < 0,001$). Выявлена очень высокая степень обусловленности вегетативно-сенсорной полиневропатии и шейных корешковых синдромов у ГР воздействием ПВ и ФП ($RR > 5$; $EP > 80\%$).

В другой работе [31] приводятся результаты скринингового обследования работающих в алмазодобывающей промышленности мужчин, выполненного в 2000 и 2007 г. в г. Мирном, Республика Саха (Якутия). С целью динамического анализа отобраны результаты двукратного обследования в указанные годы одних и тех же мужчин с наземным или подземным характером труда, не меняющих в течение этих лет места работы. Установлено, что у мужчин с наземным характером труда за семь лет в большей степени выросли величины систолического артериального давления, а у мужчин с подземным характером труда изменились в сторону преобладания атерогенных фракций показатели липидного обмена. По данным [41], у детей, проживающих в Вилюйском улусе, в целом повышен риск дефицита Са, Со, Mg, P, Se, Zn и избытка Cr, Fe, K, Mn, Na, Pb, Si. Отмечается высокая частота случаев избыточного накопления Pb (до 65% обследованных), Mn (до 44%), Fe (до 33%), Si (до 68%) и дефицита Co, Se и Mg (100% случаев), Ca (до 88%), Zn (до 82%). Выявлены также достоверные различия в содержании Cr, P, Fe и V в волосах мальчиков и девочек.

Заключение

Разведка коренных месторождений алмазов на глубину проводится скважинами и горными выработками с применением геофизических методов исследований, рациональный комплекс которых определяется исходя из конкретных геолого-геофизических условий. Основными воздействиями на окружающую среду при проведении геологоразведочных работ являются нарушения почвенно-растительного покрова и изменения русел рек.

Разработка коренных месторождений алмазов в России в основном осуществляется наиболее эффективным открытым способом, хотя доля подземного способа с годами увеличивается. Особенностью российских горно-обогатительных комбинатов является то, что в их составе работают карьеры и рудники, которые по своим сложнейшим совокупным горно-геологическим характеристикам и параметрам, не имеют аналогов в мировой практике ведения горных работ: 1) наличие до глубины 350–400 м и более многолетнемерзлых пород; 2) присутствие в границах открытой и подземной разработки мощных пластов каменной соли, на ряде месторождений имеется по несколько водоносных горизонтов, агрессивные рассолы которых характеризуются концентрацией солей до 400 г/л, содержат сероводород, метан и другие вредные компоненты, полностью исключаящие их сброс в речную сеть; 3) значительные глубины открытой разработки (карьер «Мир» – 525 м, карьер «Юбилейный» – 500 м, карьер «Удачный» – 610 м) при крутых (48–52°) углах откосов бортов карьеров; 4) наличие при подземной разработке дополнительно битумонеф-тепроявлений, опасность горных ударов и суффлярных выбросов метана и других газов; 5) наличие потенциально полезных компонентов (оливина, пирропа и циркона крупностью >3 мм) и вредных примесей (битума, магнетита, шпирита, барита и др.), оказывающие существенное влияние на технологию обогащения кимберлитов.

Практически все кимберлитовые карьеры характеризуются большой глубиной и высокими темпами углубления горных работ. Размеры их изменяются в широком диапазоне: глубина отработки – от 37,5 до 610 м; площадь карьерного поля по поверхности – от 9 до 360 га. Обычно с увеличением глубины карьеров резко возрастают объемы вскрышных работ.

Все стадии создания и эксплуатации объектов алмазодобывающего комплекса сопровождаются нарушением и даже уничтожением естественных покровов – снежного, почвенно-растительного, поверхностных и грунтовых вод, изменением рельефа при планировке поверхности, созданием выемок, котлованов, карьеров, насыпей и т. д. Горнодобывающие работы включают в себя буровзрывные работы, транспортировку пустых пород и руд с содержанием полезного ископаемого, переработку и обогащение руды, организацию хвостохранилищ, складирование отходов. При открытой разработке месторождения негативное воздействие на атмосферу является значительным, поскольку при больших количествах взрывов и работе техники образуются значительные объемы пылегазовыбросов. При разработке месторождений открытым способом формируется большое количество отходов, складированных в отвалы. При обогащении на горно-обогатительных комбинатах основными воздействиями на окружающую среду является в загрязнение атмосферного воздуха, также образуются отходы и значительные объемы сточных вод.

В последовательности техногенных воздействий на мерзлые породы и в их неизбежных последствиях выделяют первичные и вторичные. Первичные воздействия преобразуют природную среду непосредственно, внося

существенные изменения в состоянии поверхности, реже – захватывают самые верхние горизонты пород. Последующая реакция природной среды, приводящая к серьезным изменениям мерзлых пород, относится к вторичным последствиям освоения. Происходящее при этом изменение характера теплообмена на поверхности мерзлых пород наступает очень быстро. В первую очередь меняются амплитуды температур на поверхности. На них реагируют глубины сезонного оттаивания фунтов. Подобные изменения фиксируются уже на второй, реже третий годы после воздействия. Повышение или понижение температур пород в последующем (3–5 лет) приводят уже к более серьезным изменениям мерзлотных характеристик. Приводораздельные плакоры с покрывающей их растительностью подвергаются рубке, раскорчевке и пожарам. Создание буровых площадок и просек для ЛЭП, топографических ходов, трасс трубопроводов приводит к существенным преобразованиям естественных ландшафтов. В результате происходит активизация экзогенных, в том числе криогенных процессов: морозобойного растрескивания, термокарста, пучения.

Разработка кимберлитовых пород сопровождается выделением газов с высоким содержанием метана, примесями водорода, тяжелых углеводородов, сероводорода и продуктов горения (азота, диоксида углерода, инертных газов).

Серьезными источниками загрязнения окружающей среды являются отвалы пород и шламохранилища. При извлечении алмазов из рудного концентрата применяются различные реагенты, в том числе токсичные, которые могут попасть в ложе хвостохранилища. В зонах влияния добывающих производств, отвалов и шламохранилищ в почвах достаточно интенсивно накапливаются многие химические элементы (В, Sc, Zn, Ge, Ag, Mo, Ni, Cr, Zn, Mn, Cu и Co), концентрации некоторых из них нередко превышают региональный фон в 10–50 раз, а значения суммарного показателя загрязнения почв, отвечающего умеренно опасной и опасной ситуациям могут наблюдаться на 75% территории. Зоны влияния нередко достаточно четко прослеживаются в радиусе до 5 км от карьера (кимберлитовой трубки). Разработка кимберлитовых трубок может также активизировать процессы засоления почв

Разработка коренных алмазных месторождений сопровождается образованием сточных вод (карьерных, дренажных, вод шламохранилищ), отличающихся очень высокой минерализацией и, соответственно, с очень высокими (на несколько порядков выше глобальных показателей) содержаниями главных ионов, прямой сброс которых на земную поверхность или в водные объекты приводит к резко отрицательным экологическим последствиям. Такие воды характеризуются высокими содержаниями сероводорода, многих химических элементов (Mo, Br, B, Fe, Ba, Al, Mn, Cu, Zn, Ni, Pb, P, Hg, As, Tl, Sb и др.), соединений азота и фосфора, взвешенных веществ. Указанные компоненты поступают в поверхностные водотоки, формируя в них достаточно протяженные зоны техногенного загрязнения (с превышением многих элементов существующих ПДК_{рх}) и обуславливая негативное воздействие на гидробионтов, что, например, проявляется в интенсивном накоплении в мышцах рыб Mn, Cu, Cr, Pb, Co, Cd.

Литература

1. *Алексеев С.В.* Криогенез подземных вод и горных пород (на примере Далдыно-Алакитского района Западной Якутии). – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 115 с.

2. *Атрощенко Ф.Г., Гальперин А.М., Горбатов Ю.П.* Экологически безопасные технологии складирования техногенных отложений хвостохранилищ на разрабатываемых месторождениях Якутской алмазоносной провинции // *Геоэкология*, 2008, № 2, с. 109–117.

3. *Афанасьев В.П., Пахиленко Н.П.* Попигайские импактные алмазы: новое российское сырье для существующих и будущих технологий // *Инноватика и экспертиза*, 2013, вып. 1 (10), с. 8 – 15.

4. *Бобривич А.П., Бондаренко М.П., Гневушев М.А. и др.* Алмазные месторождения Якутии. – М.: Гостеолтехиздат, 1959. – 525 с.

5. *Буцев П.С., Колодезникова Е.Н.* Радиационная обстановка в алмазоносных районах Якутии. – Якутск, 1997. – 50 с.

6. *Вишневский С.А., Афанасьев В.П., Арзунов К.П., Пальчик Н.А.* Импактные алмазы: их особенности, происхождение и значение. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. – 53 с.

7. *Владыкин Н.В.* Лампронты – классификация и формационные типы // Шелочной магматизм Земаи и его рудоносность. Международное (стран СНГ) совещание (г. Донецк). – Киев, 2007, с. 46–50.

8. *Ганченко М.В.* Состояние и развитие горного производства на предприятиях компании // *Горный журнал*, 2005, № 7, с. 17–20.

9. *Ганченко М.В., Акишев А.Н., Бастин В.А.* Определение границ и оптимизация технологических параметров открытых горных работ // *Горный журнал*, 2005, № 7, с. 77–80.

10. *Гордеев В.В.* Речной сток в океан и черты его геохимии. – М.: Наука, 1983. – 160с.

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

12. *Дзюба А.А., Шпейзер Г.М., Борисов В.Н. и др.* Роль рассолов в гидрохимическом режиме рек. Западная Якутия. – Новосибирск; Наука, 1987. – 83 с.

13. *Дохунаева Д.Н., Малтушева М.Х.* Содержание солей тяжелых металлов в продуктах убоя северных оленей в разных биогеохимических зонах Республики Саха (Якутия) // Электронный научный журнал «ИССЛЕДОВАНО В РОССИИ», с. 1205–1207 // <http://zhurnalape.relarn.ru/articles/2009/095.pdf>.

14. *Дроздов А.В.* Структурно-тектонические критерии оценки приемистости массивов для захоронения сточных вод алмазодобывающих предприятий в криолитозоне Западной Якутии // *Криосфера Земли*, 2006, т. X, № 2, с. 27–45.

15. *Дроздов А.В.* Захоронение дренажных рассолов в многолетнемерзлых породах (на примере криолитозоны Сибирской платформы). – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 295 с.

16. *Дроздов А.В.* Природные и техноприродные резервуары промышленных стоков в криолитозоне (на примере Якутской части Сибирской платформы). – Якутск: Изд-во СВФУ, 2011. – 415 с.

17. *Дроздов А.В., Попов В.Ф.* Удаление дренажных рассолов в недра криолитозоны при разработке алмазных месторождений Якутии // *Разведка и охрана недр*, 2013, № 12, с. 44–49.

18. *Жуниор Г., Герасимов С.А., Ларионов В.А. и др.* Проект «Катока» – успех российских горно-обогачительных технологий в алмазодобывающей промышленности Анголы // *Горный журнал*, 2005, № 7, с. 64–66.

19. *Илупин П.П., Каминский Ф.В., Франциссон Е.В.* Геохимия кимберлитов. – М.: Недра, 1978. – 352 с.

20. *Калитин В.Т., Ведин А.Т.* Научные разработки АК «АЛРОСА» – основа роста производственного потенциала и экономической эффективности алмазодобычи // Горный журнал, 2005, № 7, с. 67–72.

21. *Кейль В.Р., Кузнецова И.Ю., Митрофанов И.М. и др.* Здоровье трудящихся промышленных предприятий Севера. Стратегия разработки оздоровительных программ. – Новосибирск: Наука, 2005. – 231 с.

22. *Климовский И.В., Готовцев С.П.* Криолитозона Якутской алмазоносной провинции. – Новосибирск, Наука, 1994. – 168 с.

23. *Климовский И.В., Готовцев С.П., Пермьяков П.П.* Экологическое состояние бассейна реки Далдын (Западная Якутия) // География и природные ресурсы, 2006, № 2, с. 96–101.

24. *Копникова Э.Э., Штрах В.В.* Распространенность и структура периферических невропатий у горнорабочих алмазодобывающей промышленности в Республике Саха (Якутия) // Сибирский медицинский журнал, 2007, № 3, с. 48–51.

25. *Костровицкий С.П.* Минералогия и геохимия кимберлитов Западной Якутии: Автореферат дис. ... доктора геол.-мин. наук. – Иркутск, 2009. – 43 с.

26. *Курьева М.В.* Повышение эколого-экономической эффективности воспроизводства минерально-сырьевой базы алмазов: Автореферат дис. ... канд. эконом. наук. – М., 2015. – 28 с.

27. *Легостаева Я.Б.* Возможные изменения геохимического облика ландшафтов в результате разработки верхнемунского кимберлитового поля на территории Республики Саха (Якутия) // Разведка и охрана недр, 2013, № 12, с. 65–69.

28. *Легостаева Я.Б., Саввинов Г.Н., Данилов П.П.* Оценка экологической ситуации в Западной Якутии по показателям загрязнения почвенного покрова // Современные наукоемкие технологии, 2004, № 5, с. 83–85.

29. *Малиновская В.С., Шилин Г.А., Козлова Г.В. и др.* Влияние сточных вод г. Мирного на санитарно-гигиеническое состояние водоемов // Вопросы региональной гигиены, санитарии и эпидемиологии: Тез. докл. науч.-практ. конф., 20–21 ноября, 1990. Вып. 3. – Якутск, 1990, с. 92–99.

30. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Алмазы. Утв. распоряжением МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р. – М., 2007. – 36 с.

31. *Николаев Ю.А., Селятицкая В.Г., Митрофанов И.М.* Факторы риска сердечно-сосудистых заболеваний у работников алмазодобывающей промышленности Якутии с наземным и подземным характером труда // Бюллетень СО РАМН, 2010, т. 30, № 3, с. 86–91.

32. *Ничиторук А.О.* Алмазодобывающий комплекс АК «АЛРОСА»: его роль и место в мировом алмазном бизнесе // Горный журнал, 2005, № 7, с. 5–12.

33. *Пасухова Т.В.* Кимберлиты – природные сверхглубокие скважины // Сорский образовательный журнал, 2000, т. 6, № 5, с. 57–63.

34. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

35. *Соколова В.А.* Изменения зоопланктона Вилюя в условиях антропогенного воздействия // Вопросы региональной гигиены, санитарии и эпидемиологии: Тез. докл. науч.-практ. конф., 20–21 ноября, 1990. Вып. 3. – Якутск, 1990, с. 229–230.

36. *Степивцев В.П., Снегирев А.М.* Некоторые оценки глубины сезонного протаивания в связи с эксплуатацией ЛЭП // Геокриологические исследования в Западной Якутии. – Новосибирск: Наука, 1980, с. 3–10.

37. *Хованская М.А., Косинова П.П.* Влияние горнодобывающей и перерабатывающей деятельности на почвы Айхальского района (Саха-Якутия) // Вестник ВГУ, Серия: Геология, 2010, № 1, с. 282–285.

38. *Ходулов В.В.* Оценка влияния загрязнения рек Западной Якутии алмазодобывающей промышленностью и урбанизированными территориями на экологию рыб: Автореферат дис. ... канд. биолог. наук. – Якутск, 2006. – 20 с.

39. *Шац М.М.* Геоэкологические проблемы освоения алмазного месторождения «Мир» // Недропользование XXI век, 2011, сентябрь, с. 78–81.

40. *Шпейзер Г.М., Родионова В.А., Мазурова Т.М.* Гидрохимический мониторинг в зоне алмазодобывающей промышленности // Изучение процессов формирования химического состава природных вод в условиях антропогенного воздействия. Мат-лы XXVIII Всес. гидрохим. сов. Май 1984 г. Ч. II. – Л.: Гидрометеиздат, 1986, с. 61–62.

41. *Эверстова А.В.* Влияние дисбаланса макро- и микроэлементов на морфофункциональные показатели детского населения дошкольного возраста алмазной провинции Республики Саха (Якутия): Автореферат дис. ... канд. мед. наук. – Якутск, 2006. – | 23 с.

42. *Ягншев Б.С., Ягншева Т.А., Зинчук М.Н., Легостаева Я.Б.* Экология Западной Якутии (геохимия геоэкосистем: состояние и проблемы). – Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2005. – 432 с.

43. *Янин Е.П.* Экологическая геохимия горнопромышленных территорий. – М.: Геоинформмарк, 1993. – 50 с.