

особенностей самих алмазов и их парагенетических ассоциаций, характерных для конкретных кимберлитовых полей и диатрем. Пределами конкретных алмазных районов ограничиваются обычно распространения отдельных ассоциаций минералов в древних и современных осадочных образованиях. Анализом распределения по площади и в разрезе типоморфных особенностей минералов и их парагенетических ассоциаций можно решать задачи определения источников их сноса в разновозрастные верхнепалеозойские и мезозойские отложения алмазо-перспективных территорий. Особо следует отметить полигенность минералогических ассоциаций алмазов из разновозрастных россыпей в пределах отдельных алмазоносных районов (особенно МБАР и СМАР) с широким проявлением россыпной алмазности, достигающих иногда промышленной концентрации. Локальный прогноз их коренных источников возможен при более крупномасштабных исследованиях с использованием электронной базы данных с геологической привязкой, с привлечением и анализом всех имеющихся литолого-минералогических материалов по этим территориям. Внимание надо обращать на возможность развития в отдельных геолого-поисковых обстановках в верхних горизонтах кимберлитовых диатрем продуктов древних КВ, существенно меняющих петрофизические свойства исходных пород, что существенно затрудняет их поиски с применением геофизических методов. На примере комплексного изучения диатрем Накынского поля подчеркнута важность задач по совершенствованию методик прогнозирования и поисков немагнитных кимберлитовых диатрем, особенно перекрытых другими магматическими и осадочными породами. Наиболее уверенно и четко определять приуроченность «отторженцев» к материнским телам возможно на основании сопоставления их вещественного состава (петрологических и минералогических особенностей).

ЛИТЕРАТУРА

1. Ваганов, В.И. Алмазные месторождения России и Мира (Основы прогнозирования) / В.И. Ваганов. — М.: Геоинформмарк, 2000. — 371 с.
2. Василенко, В.Б. Петрохимические модели алмазных месторождений Якутии / В.Б. Василенко, Н.Н. Зинчук, Л.Г. Кузнецова. — Новосибирск: Наука, 1997. — 568 с.
3. Зинчук, Н.Н. Коры выветривания и вторичные изменения кимберлитов Сибирской платформы (в связи с проблемой поисков и разработки алмазных месторождений) / Н.Н. Зинчук. — Новосибирск: НГУ, 1994. — 240 с.
4. Зинчук, Н.Н. Геология, вещественный состав и алмазность кимберлитов Накынского поля Якутии (к 50-летию юбилею г. Мирный и алмазодобывающей промышленности России) / Н.Н. Зинчук, С.Г. Алябьев, В.И. Банзерук и др. — Воронеж: ВГУ, 2005. — С. 807–824.
5. Зинчук, Н.Н. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы / Н.Н. Зинчук, В.И. Коптиль. — М.: Недра, 2003. — 603 с.
6. Зинчук, Н.Н. Тектоника и алмазоносный магматизм / Н.Н. Зинчук, А.Д. Савко, Л.Т. Шевырев. — Воронеж: ВГУ, 2004. — 426 с.
7. Зинчук, Н.Н. Кимберлитовая трубка Удачная (вещественный состав и условия формирования) / Н.Н. Зинчук, З.В. Специус, В.В. Зуенко, В.М. Зуев. — Новосибирск: НГУ, 1993. — 147 с.
8. Милашев, В.А. Кимберлиты и глубинная геология / В.А. Милашев. — Л.: Недра, 1990. — 167 с.
9. Орлов, Ю.Л. Минералогия алмаза / Ю.Л. Орлов. — М.: Наука, 1984. — 264 с.

10. Розен, О.М. Сибирский кратон: формирование, алмазность / О.М. Розен, А.В. Манаков, Н.Н. Зинчук. — М.: Научный мир, 2006. — 212 с.

11. Францессон, Е.В. Петрология кимберлитов / Е.В. Францессон. — М.: Недра, 1968. — 199 с.

12. Харьков, А.Д. Коренные месторождения алмазов Мира / А.Д. Харьков, Н.Н. Зинчук, А.И. Крючков. — М.: Недра, 1998. — 556 с.

© Зинчук Н.Н., 2018

Зинчук Николай Николаевич // nnzinchuk@rambler

УДК 502.521:504.5

Спиридонов И.Г., Левченко Е.Н. (ФГБУ «ИМГРЭ»)

ГОРНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

*Рассмотрены основные виды воздействия на окружающую среду при разведке и эксплуатации месторождений ТПИ. Показана экологическая ситуация, обусловленная добычей и переработкой минерального сырья на территории горнорудных регионов, а также экологические последствия от накопленных горно-промышленных отходов. Приводятся результаты экологического мониторинга качества природной среды промышленных городов Российской Федерации. **Ключевые слова:** экологическая безопасность, горное производство, техногенные отходы, тяжелые металлы, загрязнение экосистем.*

Spiridonov I.G., Levchenko E.N. (IMGRE)

MINING AND INDUSTRIAL WASTE AND ENVIRONMENTAL SAFETY

*The paper describes major types of the environmental impact that occurs due to the exploration and mining of solid minerals. The ecological situation caused by the extraction and processing of solid mineral materials in the mining regions, as well as the environmental consequences of the mining and industrial waste accumulation are demonstrated. The results of environmental monitoring of industrial cities of the Russian Federation are presented. **Keywords:** environmental safety, mining, technogenic waste, heavy metals, pollution of the ecosystem.*

Изучение и прогнозирование воздействия природных и техногенных факторов на окружающую природную среду, связанных с разведкой и разработкой месторождений полезных ископаемых (МПИ), проводится в течение многих лет как на локальном, так и на региональном уровнях с целью снижения, а в некоторых случаях и предотвращения отрицательных последствий намечаемой деятельности на природные объекты: атмосферный воздух, водные ресурсы, почва, растительный и животный мир.

Основными видами воздействия на окружающую среду являются: изъятие земель для размещения основного и вспомогательного производства; загрязнение растительности и поверхностных слоев почвы в резуль-



Рис. 1. Отбор проб при комплексном эколого-геохимическом изучении территории

тате загрязнения атмосферы и осадения вредных веществ на растительный и почвенный покровы [1].

Мониторинг природной среды должен осуществляться на всех этапах от проведения ГРП до отработки месторождения, в период ликвидации горного производства и выполнения рекультивации нарушенных земель, после завершения рекультивации и вплоть до полной стабилизации ситуации на участке. Основой этих исследований являются эколого-геохимические работы, включающие:

- выявление ареалов загрязнения компонентов окружающей среды токсичными веществами;

- оценку степени и состава их загрязнения;

- оценку потенциальной геохимической эндемичности;

- районирование территории по уровню загрязнения и степени экологической опасности; выявление источников загрязнения;

- выявление площадей потенциальных техногенных объектов;

- эколого-геохимический мониторинг и прогноз развития негативных процессов;

- разработку рекомендаций по реабилитации территорий неблагоприятного экологического состояния;

- выявление контингентов населения с повышенным риском заболеваемости [15].

Изучение состояния окружающей среды проводится по следующим основным направлениям: картирование техногенного загрязнения почв и снегового покрова;

установление особенностей реагирования растений на загрязнение почв;

геохимические исследования подземных вод, поверхностных водотоков и донных отложений (рис. 1);

анализ химического состава атмосферного воздуха, осадков и аэрозолей, отходов промышленных предприятий как источников загрязнения окружающей среды и объектов для извлечения вторичного сырья;

взаимосвязей загрязнения окружающей среды и показателей здоровья населения, проживающего в очагах загрязнения. Результатом этих работ является создание эколого-геохимических карт экологического состояния территории.

При разработке месторождения и связанной с этим хозяйственной деятельности происходит техногенное загрязнение и изменение природного ландшафта, неизбежно нарушается почвенный покров при планировке площадок для размещения на них производственных сооружений, подготовке территории и строительстве зданий, при прокладке трубопроводов и строительстве дорог.

Разработка месторождения и переработка руд любым из способов влечет за собой химическое загрязнение природной среды, в том числе гидросферы, вследствие окисления, измельчения, перемещения руд и вмещающих пород, использования при обогащении флотационных реагентов и пр. Загрязнение гидросферы в зоне влияния разрабатываемых месторождений ведет к негативным изменениям как в ее составе, так и в составе вод централизованного водоснабжения в горняцких поселениях; в связи с этим необходимы исследования в этой области. Например, известно, что при осушении Лебединского и Стойленского карьеров Курской магнитной аномалии (КМА) образовалась единая депрессионная воронка, радиус которой достигает нескольких десятков километров [16].

Факторы влияния на формирование гидросферы МПИ следует подразделять на природные и техногенные. Среди первых наиболее значимы геологические и ландшафтно-геохимические. Геологическими факторами авторы считают состав руд, вмещающих пород и трещиноватость пород; техногенными — способ добычи и условия обогащения руд. Изучалось воздействие на гидросферу апатит-нефелиновых месторождений Хибинских тундр (ХТ) на Кольском п-ове: Куки-свумчорское, Юкспорское, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр. Они разрабатываются горнорудным предприятием ОАО «Апатит» [3].

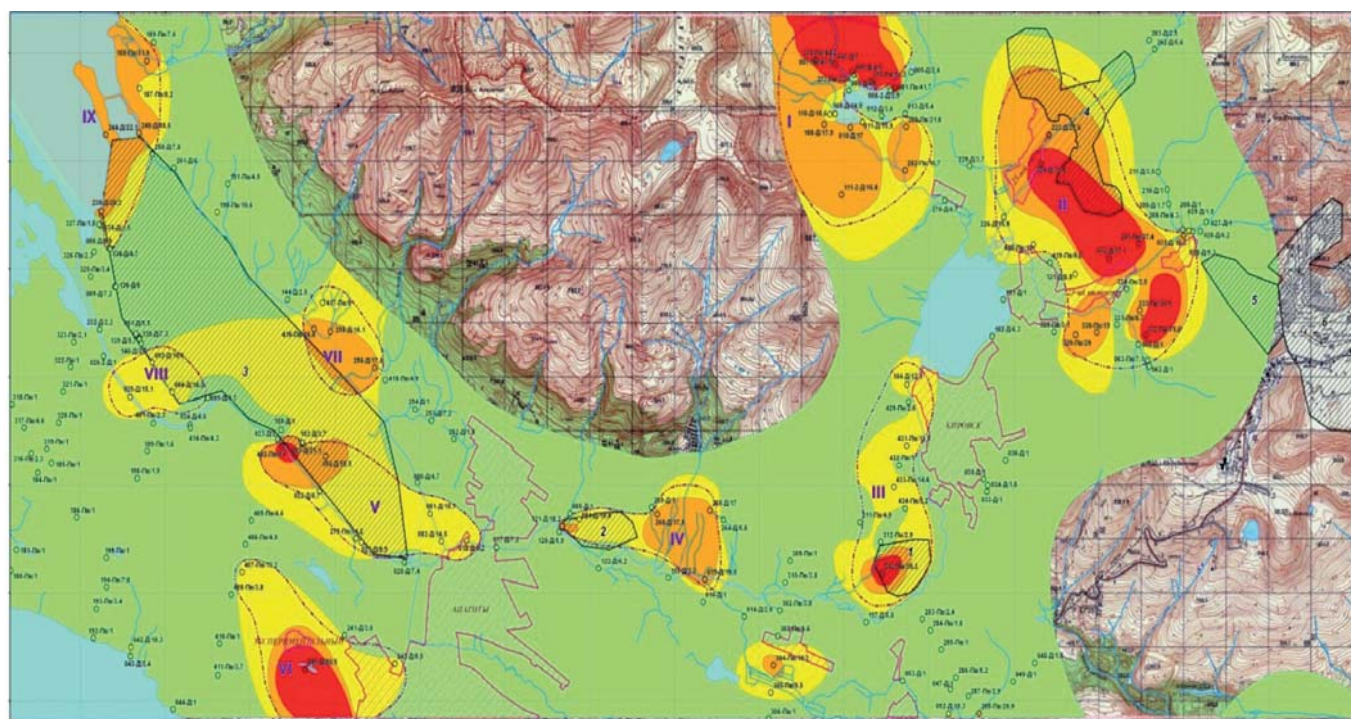
Руда добывается на трех рудниках: Кировский, Расвумчоррский и Восточный. Месторождения Хибин-

ских тундр залегают в нефелиновых сиенитах и урритах, а сами руды представляют собой нефелин-апатитовый концентрат. Это, безусловно, формирует щелочную среду всех компонентов ландшафта, т.к. преобладающий состав пород определяет геохимический фон всех его компонентов, а, следовательно, и гидросферы [3]. Немаловажную роль в формировании состава подземных вод МПИ играет *тип почв*. Почвы зачастую обладают высокой буферностью, если в их составе присутствует достаточное количество карбонатов, глинистых частиц и органических веществ.

В почвах, погребенных под отвалами, происходит ощутимая геохимическая трансформация. Так, в почвах, погребенных более 20 лет назад, происходит сильное окисление всей толщи профиля (рН — до 3,5–4,0), разрушаются почвенные коллоиды, нарушается почвенный поглощающий комплекс, увеличивается подвижность органического вещества. Горизонты почв обогащаются рудными компонентами, глубина проникновения которых для различных химических элементов неодинакова. Все это свидетельствует о подвижности химических элементов в отвалах, которые часто

практически не изолированы от водных систем и могут оказывать воздействие на территорию подсобных хозяйств ГОКа в зоне выбросов и отходов хранилищ [3].

Для оценки влияния горнопородных отвалов и хвостохранилищ на микроэлементный состав природных вод на территории деятельности горнорудного предприятия ОАО «Апатит» был проведен комплекс лабораторно-аналитических работ, включавший отбор геохимических проб из отвалов, хвостохранилищ и поверхностных вод, из водотоков, сопряженных с отвалами и хвостохранилищами, определение их микроэлементного состава комплексом методов: литохимических проб — спектральным полуколичественным анализом (ПКСА), водных проб — масс-спектрометрическим (ICP MS и ICP OES). Проведенное изучение потоков миграции элементов из хвостохранилищ в природные воды позволяет сделать вывод о том, что происходит процесс их загрязнения токсичными элементами (ТЭ). Установлено повышенное содержание токсичных элементов, таких как Be, Pb, As, которые являются потенциальными элементами-загрязнителями поверхностных и подземных вод района деятельности ОАО «Апатит» (рис. 2) [7].



Гидрография
 1 — реки, каналы; 2 — озера, водохранилища, пруды, реки, каналы.

Объекты антропогенного влияния
 1 — хвостохранилище АНОФ-1; 2 — отстойники ТЭЦ; 3 — хвостохранилище АНОФ-2; 4 — Кировский рудник; 5 — Расвумчоррский рудник; 6 — Центральный рудник; 7 — населенные пункты; 8 — границы техногенных аномалий

244-д - А

Уровни загрязнения почв и рыхлых отложений

Уровень загрязнения	Значение Zc	Условный знак на карте	Эколого-геохимическое состояние территории
минимальный	< 8	■	удовлетворительное
низкий	8 - 16	■	напряженное
средний	16 - 32	■	критическое
высокий	> 32	■	чрезвычайное

Рис. 2. Уровень загрязнения почв в районе разработки месторождений Хибинских Тундр: А — точка отбора пробы, ее номер. Гидрография: 1 — реки, каналы; 2 — озера, водохранилища, пруды, реки, каналы. Объекты антропогенного влияния: 1 — хвостохранилище АНОФ-1; 2 — отстойники ТЭЦ; 3 — хвостохранилище АНОФ-2; 4 — Кировский рудник; 5 — Расвумчоррский рудник; 6 — Центральный рудник; 7 — населенные пункты; 8 — границы техногенных аномалий

Работы в области эколого-геохимических исследований доказывают, что самые серьезные негативные эколого-геохимические последствия связаны с функционированием крупных промышленных узлов (Нижегородский, Иркутско-Черемховский, Хабаровский, Владивостокский и т.д.), разведкой и разработкой месторождений полезных ископаемых в районах активной горнодобывающей деятельности (Кировский, Мамско-Бодайбинский, Хапчерангский, Дальнегорско-Кавалеровский, Норильский горнопромышленные районы и т.д.). Дана оценка вклада и влияния источников загрязнения природной среды U, As, Pb, Hg, Sb, F и других токсичных элементов на общее экологическое состояние территорий [13].

Особую озабоченность вызывают отходы обогащенного и металлургического переделов, поскольку их хранение требует специальных инженерных сооружений, а сами отходы содержат элементы и соединения, вредные для природы и здоровья человека. Количество их значительно меньше, чем вскрышных и вме-

щающих пород, но воздействуют они на экологическую ситуацию более пагубно. Например, экологическая ситуация, обусловленная добычей минерального сырья и размещением отходов более чем на 25 % территории Уральского экономического района, оценивается как кризисная. Несколько меньше площади таких земель в Южном Приморье, Ханты-Мансийском АО, Тюменской области, Красноярском крае и других районах интенсивной добычи и переработки полезных ископаемых [1].

Забайкальский край – уникальный горнорудный регион, содержащий в своих недрах значительный промышленный запас урана, лития, золота, молибдена, титана, свинца, тантала, ниобия, плавикового шпата, угля и других полезных ископаемых. Деятельность горнорудных предприятий привела к образованию большого количества отходов добычи и переработки минерального сырья различного класса опасности (табл. 1).

Техногенные преобразования захватывают террито-

рии, многократно превышающие площади горных отвалов. Только в 2011 г. в Забайкальском крае образовалось более 100 млн т отходов горного производства. Причем 16,8 млн т отправлено на захоронение и дальнейшую рекультивацию, а это 15,4 % от общей массы образовавшихся отходов. В настоящее время на действующих предприятиях хранится почти 700 млн т отходов. Площадь земли под размещаемые хвостохранилища достигает 3 тыс. га [10].

Отходы горного производства, складированные на прилегающих территориях в виде отвалов, являются источником токсичных элементов, поступающих в окружающую среду и загрязняющих все ее компоненты, превышая уровень экологических нормативов. В районах, разрабатываемых трех вольфрамовых и четырех молибденовых месторождений, изучены особенности состава вод и их физико-химические характеристики. Наиболее минерализованные кислые, сульфатные с максимальными содержаниями тяжелых металлов воды зафиксированы в дренаже хвостов обога-

Таблица 1

Характеристика горно-технологических отходов месторождений Восточного Забайкалья [5, 6]

Отрабатывавшиеся месторождения	Вид горно-технологических отходов	Содержание полезных компонентов: %, г/т в ГТО
Ключевское, Давендинское (Au, Mo)	Хвосты флотации, кеки цианирования	Au — 0,35; Ag — 0,5-3,0; Mo — 0,04
Дарасунское (Au)	Хвосты ЗИФ, огарки подового обжига, кеки цианирования	Au — 0,36; Ag — 1,18...30,0; S — 4,1...24,4; As — 0,07...3,9; Cu — 0,013; Zn — 0,01
Балейско-Тасеевское (Au)	Вскрышные породы, хвосты обогащения	Au — 0,33...1,2; Ag — 0,37
Шахтаминское (Mo)	Хвосты обогащения	Mo — 0,028; Pb — 0,053; Cu — 0,033; S — 1,92; Bi — 0,0045; Au — 0,2; Ag — 5,2
Благodatское полиметаллическое	Хвосты обогащения	Pb — 0,595; Zn — 1,188; Cd — 0,008; Ag — 18,63; Au — 0,235
Нерчинско-Заводская группа полиметаллических месторождений, работавших до 1917 г.	Мелкие рудно-породные отвалы	Au — 1,5...10; Pb, Zn, Ag — невысокие содержания
Екатерининские серебряно-плавильные заводы (XVII-XIX вв.)	Сереброплавильные шлаки	Pb — 3,28...5,05; Zn — ,54...5,43; Sn — 0,1; Cu — 0,1; Sb — 0,13; Ga — 0,0002; Ag — 30...80; In — 0,002; Au — 0,1...0,15
Бугдаинское (Mo)	Окисленные руды, пустые породы	Mo — 0,096
Акатуевское полиметаллическое	Хвосты обогащения	Pb — 0,28; Zn — 0,63; Cd — 0,0054; Ag — 9,2; Au — 0,33
Кадаинское полиметаллическое	Хвосты обогащения	Pb — 0,35; Zn — 1,1; Cd — 0,004; Ag — 15; Au — 0,19; Bi — 0,00042; As — 0,5; S — 5,45
Шерловогорское (Sn-полиметаллы)	Хвосты обогащения, вскрышные породы, забалансовые руды	Sn — 0,035-0,12; Cu — 0,06; Pb — 0,03...0,83; As — 0,06; Zn — 0,15...0,52; Bi — 30; Ag — 8,7...15,8; Sc — 20; In — 30; BeO — 10
Савинское № 5 полиметаллическое	Хвосты обогащения	Zn — 0,49; Pb — 0,12; Bi — 0,001; Cd — 0,0033; Ag — 7,5; Au — 0,054
Любавинское золотое	Хвосты обогащения, вскрышные породы, забалансовые руды	Au — 1,1...4,39



Рис. 3. Участки действия геохимических барьеров: 1 — окислительного (выход в песках хвостохранилища Спокойнинского месторождения); 2 — окислительного (пруд хвостохранилища Жирекенского ГОКа); 3 — испарительного (отложения в песках хвостохранилища Шахтаминского месторождения); 4 — гидродинамического и сорбционного глинистого (штольневый сток под отвалами Букуинского рудника)

тительных фабрик, породных отвалов и в прудах шламохранилищ месторождений с повышенным количеством сульфидов в рудах. Выделены группы элементов, представляющих наибольшую опасность для водных экосистем: Cd, Cu, Zn, Th, Mn, Al — в кислых и слабокислых, W, U, As, Mn — в слабощелочных и щелочных водах. В районах месторождений исследованы геохимические барьеры кислородного, щелочно-го и сорбционного типов (рис. 3) [17].

Из-за ранее накопленных и брошенных хвостохранилищ на территории Забайкалья происходит интенсивное загрязнение воздуха вблизи прилегающих поселков и поселений. Экологическая проблема еще в большей степени осложняется из-за трудности удержания воды на поверхности хвостохранилищ в условиях криолитозоны и высоких температур (до 40...50 °С), а также сильной ветровой эрозии, характерной для Забайкалья, когда сухая поверхность хвостов становится источником выделения пыли.

В значительной мере с отходами связана оценка состояния водных ресурсов как «грязное» и «очень грязное» таких рек, как Лена, Амур, Обь, Алдан, в бассейнах которых нарушенные и загрязненные территории занимают более 10 %.

На долю горных отраслей промышленности приходится 70–80 % объема всех техногенных образований, которые обладают своими особенностями, обусловленными составом исходного сырья, технологией добычи, обогащения или переработки и целым рядом других факторов.

Техногенные объекты — один из источников не только получения товарной продукции, но и экологической опасности. Поэтому необходимы объективная оценка и детальная разведка каждого перспективного

техногенного месторождения. Оценочные работы проведены пока на немногих объектах [2, 14].

В ИМГРЭ изучены ряд техногенных образований и их нагрузка на окружающую среду (ОС). При оценке технологических свойств техногенных отходов, содержащих редкие металлы, для выбора рациональной технологии их переработки использован алгоритм исследований, в соответствии с которым на изученных объектах проведено исследование вещественного состава техногенных отходов, а именно, химического и гранулярного состава материала с распределением ценных, попутных и токсичных компонентов по классам крупности, минерального состава, физических и физико-механических свойств [8].

Техногенные рудидий-содержащие пески Батагайского хвостохранилища (Республика Саха (Якутия)) представляют существенную угрозу экологии поселка. Пески вмещают комплекс элементов-токсикантов, среди которых наибольшую опасность представляет таллий — второй после ртути по токсичности и первый по патологичности элемент. Уста-

новлено, что содержание таллия увеличено до 4,68 ПДК, кадмия до 314 ПДК, лития до 318 ПДК, бериллия до 503 ПДК. Реальная экологическая опасность природных и техногенных аномалий зависит не от валового содержания отдельных экологически опасных компонентов, а от формы их нахождения. Исходя из того, что все соединения таллия (I класс опасности) хорошо растворимы предполагается, что часть его уже вынесена из песков хвостохранилища и поступила в воды р. Яна (рис. 4) [8].

Минералого-технологические исследования техногенного месторождения (эфельных отвалов) промышленной отработки россыпи «Центральная-Нижняя» (Республика Саха (Якутия)) проведены в 2015–2016 гг. на материале 2630 рядовых геологических и 30 минералого-технологических проб (МТП). Отвалы складировались в двух специально оборудованных хвостохранилищах. Рудный минерал представлен куларитом, содержащим оксиды редких земель и торий. По результатам геолого-технологического картирования распределение куларита по площади совпадает с ареалами предварительного гамма-каротажа (рис. 5).

Вовлечение в переработку техногенного минерального сырья обеспечит не только улучшение экологической обстановки вокруг действующих предприятий и ликвидацию возможных источников загрязнения окружающей среды, но и сокращение расходов на поиски и разведку месторождений, сохранение истощающихся минеральных ресурсов в недрах. На основе применения новых технологий и оборудования разработка техногенных месторождений становится экономически выгодным производством.

Одним из наиболее мощных источников загрязнения урбанизированных городов и территорий тяжелыми

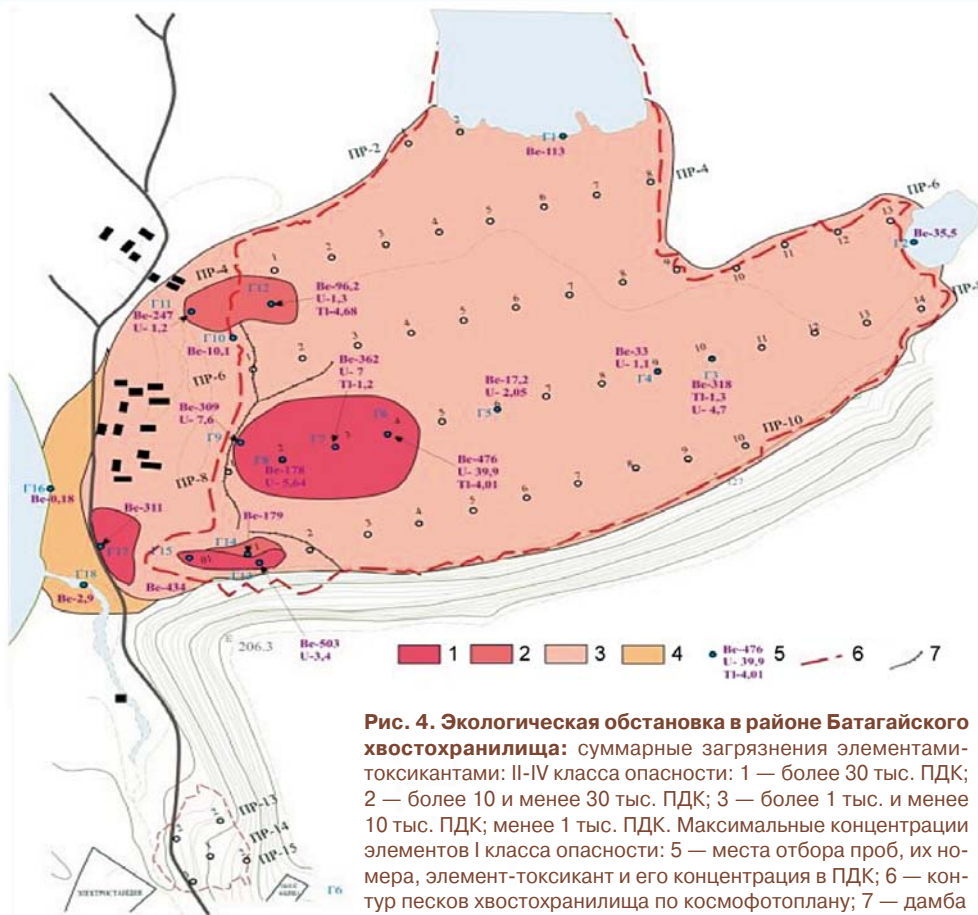


Рис. 4. Экологическая обстановка в районе Батагайского хвостохранилища: суммарные загрязнения элементами-токсикантами: II-IV класса опасности: 1 — более 30 тыс. ПДК; 2 — более 10 и менее 30 тыс. ПДК; 3 — более 1 тыс. и менее 10 тыс. ПДК; менее 1 тыс. ПДК. Максимальные концентрации элементов I класса опасности: 5 — места отбора проб, их номера, элемент-токсикант и его концентрация в ПДК; 6 — контур песков хвостохранилища по космофотоплану; 7 — дамба

природной среды в десятки, сотни и иногда тысячи раз.

Отпробование, проведенное на примыкающих к промышленным предприятиям территориям, показало наличие повсеместного загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова и атмосферного воздуха, которое фиксируется в виде техногенных геохимических аномалий в компонентах среды (в данном случае в снеговом покрове, в слое выпавшей в летний сезон пыли, в почвенном покрове).

Наиболее сильно влияют на окружающую среду выбросы предприятий с высокими и очень высокими уровнями концентраций химических элементов, даже если количество выбрасываемой пыли сравнительно невелико.

Особенность состава выбрасываемой промышлен-

металлами являются выбросы промышленных предприятий. Город, как правило, оказывает прямое или опосредованное воздействие на территории, значительно превосходящие его по площади. Именно город характеризуется ярким выражением двух основных процессов техногенеза: концентрированием значительных масс химических веществ и их рассеиванием. Проходя через воздух, как транспортирующую среду, вещества выбросов накапливаются в депонирующих компонентах (почва, снеговой покров, донные отложения).

В условиях города с многочисленными производственными объектами зоны влияния различных источников загрязнения перекрываются, создавая сложную картину размещения техногенных веществ [18]. Все виды производственных пылей обогащены теми или иными химическими элементами, уровень концентрации которых в зависимости от используемых материалов и технологического процесса меняется в широких пределах, часто превышая фоновые содержания в компонентах

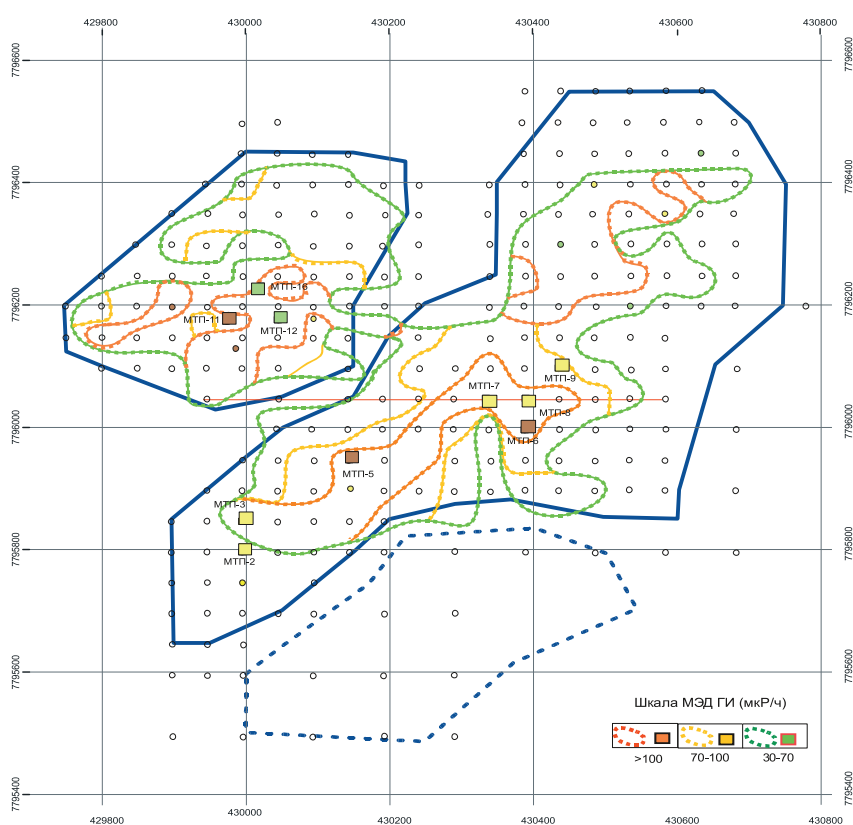


Рис. 5. Расположение МТП в ареалах распределения мкР/ч по данным гамма каротажа

ными объектами пыли может быть использована как для установления предприятий-источников загрязнения, так и для идентификации видов производства по составу загрязненных компонентов среды. В первую очередь это относится к предприятиям с достаточно яркими в геохимическом плане выбросами, как, например, предприятия по выплавке и обработке качественных сталей и сплавов, по производству фосфорных удобрений, сжиганию твердых бытовых отходов [4].

Приведем результаты экологического мониторинга (ЭМ) качества природной среды промышленных городов Российской Федерации [12]. Одним из результатов ЭМ является расчет комплексного показателя, характеризующего качество природной среды (воздух, вода, почва и т.д.). Для расчета этих показателей используется сопоставление результатов аналитических измерений контролируемых веществ с их регламентируемыми величинами. В большинстве природных сред, таких как атмосфера, поверхностная и подземная гидросфера в качестве данных величин выступает предельно допустимая концентрация (ПДК) химического вещества. По совокупности экологического состояния (ЭС) города России делятся на пять категорий: 1 — благополучное, 2 — удовлетворительное, 3 — умеренно напряженное, 4 — напряженное, 5 — критическое. К 1-й категории отнесены семь городов РФ, к 4-й — 26 % городов РФ, к 5-й — 9 %.

Для оценки степени химического загрязнения почв в России разрешено применять три расчетных показателя, которые сравнивают с ПДК (Zп), фоновым содержанием (Zф) и кларками (Zк). Сравнялось средневзвешенное содержание валовых форм тяжелых металлов 1–2 класса опасности — Pb, Cd, Hg, Zn, Ni, Cu. Данные взяты из отчетов о государственном мониторинге, опубликованных в научных статьях за период 2006–2014 гг. По трем оценочным критериям к 1-й (высокоопасной) категории отнесены Иркутск, Пенза, Саратов, Челябинск, Екатеринбург, ко 2-й (опасной) — Пермь и С-Петербург, к 3-й (умеренно опасной) — Благовещенск и Вологда (рис. 6).

В 1999–2001 гг. в целях экологического мониторинга за контролем техногенного загрязнения почв Владикавказа и состоянием здоровья населения ИМГРЭ был проведен комплекс эколого-геохимических и медицинских исследований, в результате которого были обновлены карты содержаний элементов I, II, III классов опасности для всей городской территории, проведено опробование растительности, а также проведено сравнение опасности для здоровья детско-

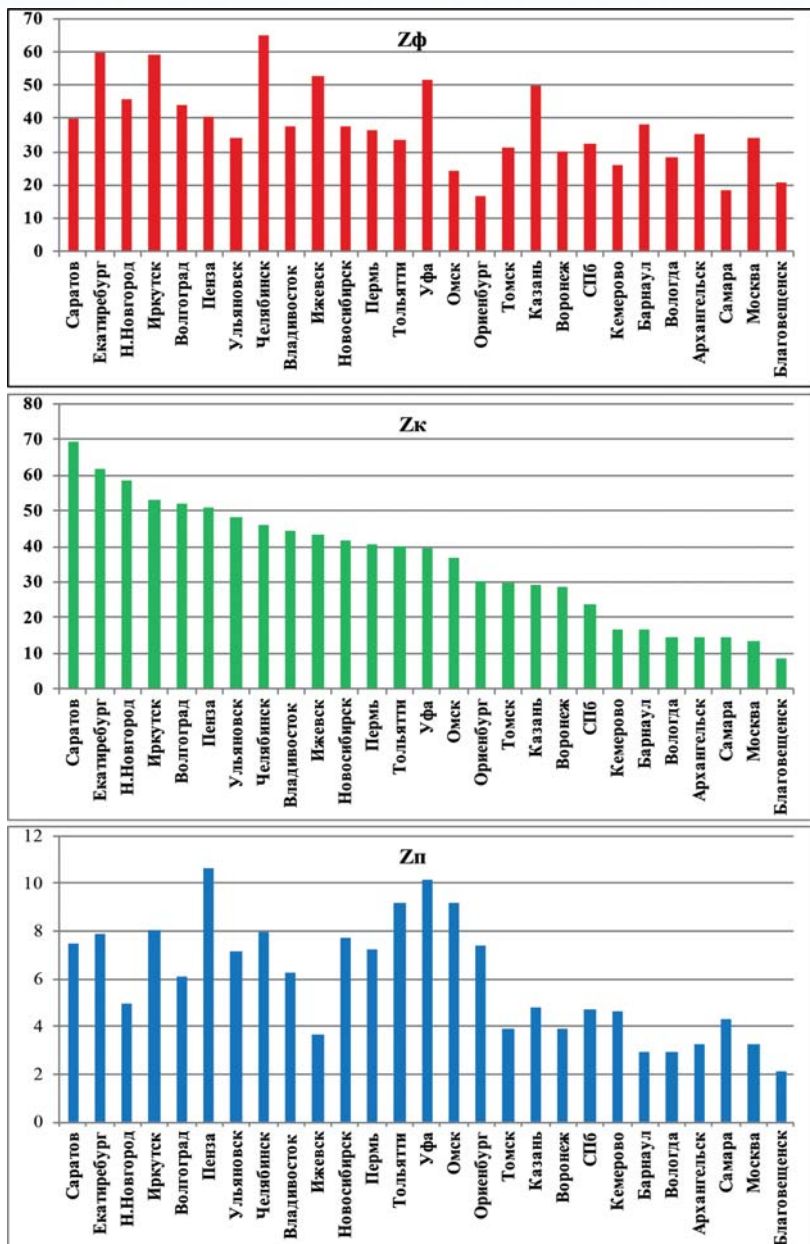


Рис. 6. Эколого-геохимическое ранжирование промышленных городов РФ

го населения на примере двух районов города — Промышленный и Затеречный [9]. Работы подтвердили высокую зараженность почв токсичными металлами, установленную более ранними работами. Геохимические работы выявили на территории города аномальное загрязнение почв химическими элементами I–III класса опасности предельно высоких концентраций. Наиболее высокие содержания характерны для кадмия, свинца, цинка, вольфрама, меди, сурьмы, серебра, индия, мышьяка, олова, висмута (табл. 2). Стоит также добавить, что практически все почвы города содержат ртуть в тех или иных количествах. В 2010 г. Госсанэпиднадзор провел отбор сельскохозяйственной продукции (лук, укроп, петрушка, киндза, перец, морковь, помидоры, ежевика, алыча, виноград, грецкий орех и др.) с частных участков и в черте города. Результат исследований — более половины всей ис-

Таблица 2
Сравнение содержаний основных элементов почв Владикавказа с ПДК (ОДК)
и кларками земной коры (в г/т)

Элементы	Класс опасности	ПДК (ОДК)	C_{\min}	$C_{\text{ср}}$	C_{\max}	Кларк
Pb	1	32	40	1005	>10000	14
Zn	1	55	100	2424	>10000	75
Cd	1	0,5	3	31,4	>1000	0,11
Cu	2	33	40	325	1000	50
W	3	—	3	33,6	1000	1
Ag	—	—	0,05	2,7	50	0,07
Sb	2	4,5	30	18	500	0,2
As	1	2	25	22,5	600	1,5
In	—	—	3	10,4	300	0,049
Sn	3	4,5	3	19	300	2,2
Bi	—	—	1	5,5	100	0,048

следуемой плодоовощной продукции содержит свинец, кадмий в количествах, превышающих установленные, и не соответствует Требованиям СанПиН по соответствующим разделам. Для проживающего населения можно говорить о пожизненных рисках, так как выбрасываемые в атмосферу вещества I–II классов опасности затем депонируются в почвенном слое и попадают в организм человека как с вдыхаемым воздухом, так и вместе с растительной и плодовой продукцией, выращиваемой не только в черте города, но и за его пределами.

По результатам эколого-геохимических исследований территории Москвы и Московской области, проведенных в ИМГРЭ, составлены карты МГХК-1000 и МГХК-200 суммарного загрязнения почв химическими элементами в различные периоды наблюдений. Составлена схема ранжирования территорий по уровню риска хронических эффектов.

Анализ карты распределения рисков хронических эффектов в Москве позволяет выделить в черте города две области с превышением допустимых (более 16 %) значений риска. Тем самым, в районах города, попадающих в эти области, можно прогнозировать повышенную заболеваемость, связанную с неблагоприятной экологической обстановкой. Сопоставление полученных рисков с результатами медицинской статистики заболеваний органов дыхания у детей для района Братеево в сравнении со средними по Москве показывает, что это превышение может быть полностью связано с неблагоприятной экологической ситуацией. Средняя заболеваемость органов дыхания у детей по данным медицинской статистики в Москве составляет 15,5 %. Заболеваемость органов дыхания у детей в муниципальном округе Братеево — 22 %, что превышает средний по Москве уровень на 6,5 %. Средний риск хронических эффектов для муниципального округа Братеево — 24 %, что превышает допустимый риск (в 16 %) на 8 %. Таким образом, прирост заболеваемости, связанный с неблагоприятной экологической ситуацией для муниципального округа Братеево, отличается от фактического на 1,5 %, что может быть

объяснено погрешностями различной природы. Работы по оценке экологического состояния городской среды в режиме мониторинга проведены по территории г. Москва. Примером мониторинга являются 4 цикла эколого-геохимического картирования почв, выполненные в 1976, 1986, 1993 и 2006 годах. По результатам этих работ выявлено, что уровень загрязнения на различных участках городской территории со временем существенно изменяется (рис. 7). Это обусловлено в первую очередь интенсивностью и характером промышленного производства, характеризующегося с одной стороны ростом в 1970–1980-е годы и спадом в 1990–2000-е годы, а также выводом за

пределы городской черты некоторого количества вредных производств. Кроме этого, ужесточением контроля за вредными выбросами со стороны природоохранных ведомств предприятий, возросшими объемами работ по санации почв на территории города — ликвидацией несанкционированных организованных свалок, озеленением, созданием защитных сооружений при ведении строительства.

В почвах, воде, донных отложениях и атмосфере территории Московской области установлены высокие концентрации токсичных химических элементов (Cd, As, Pb, Zn, Hg и др.) и соединений (NO₂, NO₃, пестициды). К таким площадям относятся, прежде всего, Москва и ее ближайшее промышленное окружение (Химки, Подольск, Люберцы, Шелково), восточная и юго-восточная части области (Электросталь, Орехово-Зуево, Бронницы, Воскресенск, Егорьевск, Коломна, Серпухов и др.). Благополучна обстановка в северной части области, где выявлено лишь несколько критических зон (Клин, Солнечногорск, Дмитров, Сергиев Посад, Краснозаводск). Наиболее благополучна эколого-геохимическая обстановка в западной части области. В целом площади с неблагоприятным экологическим состоянием занимают не менее 60 % территории области.

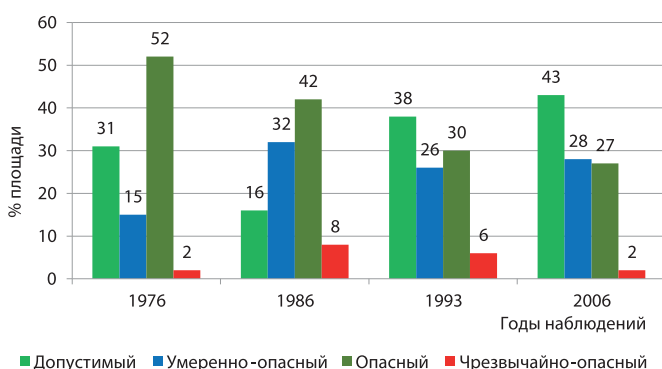


Рис. 7. Тенденция изменения площади загрязнения почв г. Москвы химическими элементами в различные периоды наблюдений



Рис. 8. Взаимодействие техногенных образований с биотой [1]

Анализ наиболее интенсивных техногенных воздействий на природную среду (рис. 8) позволяет говорить о следующих факторах, провоцирующих ухудшение экологической ситуации на территориях [13]:

- зоны интенсивного развития металлургической, энергетической, химической промышленности, характеризующиеся высоким уровнем загрязнения компонентов природной среды, а также тяжелыми последствиями в случае нештатных ситуаций;
- нефтегазодобывающие и перерабатывающие регионы, для которых характерны сильные (иногда необратимые) изменения природных ландшафтов в условиях крайне неустойчивых экосистем, высокий уровень аварийности производства;

для здоровья человека, чем традиционно понимаемое загрязнение (рис. 8).

Проблемы среды обитания человека, проживающего в городской среде, сходны с таковыми, испытываемыми геологами, представителями смежных профессий и населением территорий геологоразведочных, горнодобывающих, нефтегазовых, металлургических предприятий.

Токсичность продуктов горно-обогатительного производства зависит от их физического состояния и химического состава. Понимание механизмов воздействия химических элементов и соединений на окружающую среду и здоровье населения позволяет оптимизировать медицинские последствия и осуществлять приемлемую

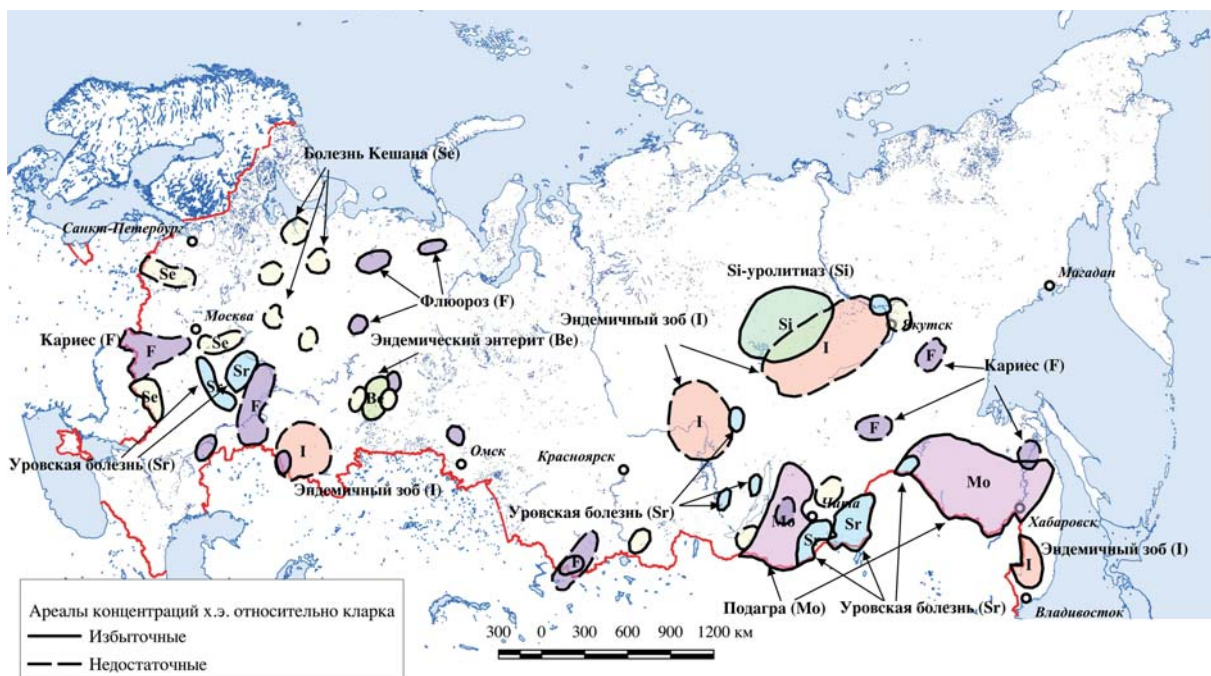


Рис. 9. Ареалы некоторых эндемических заболеваний в России, связанных с деятельностью горнорудных предприятий

добычу и переработку минерального сырья. При этом необходимо учитывать весь спектр источников и объектов воздействия для создания системы медико-экологической безопасности территорий производства работ (рис. 9) [11].

В заключение следует подчеркнуть, что экологические последствия от накопленных горно-промышленных отходов масштабнее, чем это декларируется в различных материалах, так или иначе касающихся рассматриваемой проблемы, и носят глобальный характер. Масштабы потерь земель, водных, лесных, рекреационных и других ресурсов при недропользовании в целом и от неиспользованных отходов в частности ставят эти процессы в один ряд с негативными факторами, несущими угрозу безопасности страны.

В сложившейся ситуации с учетом общего состояния МСБ страны, минерально-ресурсного потенциала горно-промышленных отходов, их негативного влияния на окружающую природную среду настоятельной необходимостью является развитие единого технологического цикла добычи и переработки полезных ископаемых до уровня вовлечения в хозяйственный оборот техногенных отходов (месторождений): «добыча — переработка — размещение отходов — утилизация». Предприятия повышенного класса опасности, внедряя современные разработки, могут понизить риски для окружающей среды и населения.

При обсуждении, создании и реализации различных региональных программ экономического роста на основе использования минерально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, разрабатываемых Правительством Российской Федерации, необходимо учитывать опыт экологического обеспечения проектов, уделяя самое пристальное внимание решению задач социального обеспечения населения, здравоохранению и экологии. Связанные воедино, они в конечном счете определяют экономический эффект и перспективы программ создания территорий опережающего развития (ТОР) и минерально-сырьевых центров экономического развития (МСЦЭР).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александрова, Т.Н.* Эколого-геохимическая оценка техногенных отходов горно-металлургического комплекса России / Т.Н. Александрова, Н.В. Николаева. — СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2015. — 180 с.
2. *Быховский, Л.З.* Техногенные образования и месторождения редкоземельных металлов и скандия России / Л.З. Быховский, С.Д. Потанин, Е.И. Котельников, С.И. Ануфриева и др. // Редкоземельное и скандиевое сырье России. Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая. — М.: ВИМС, 2016. — № 31. — С. 112–120.
3. *Вдовина, О.К.* Химический состав фракций обломочного материала горнопородных отвалов и хвостохранилищ, как основа оценки потенциальной геоэкологической опасности районов деятельности горнорудных предприятий / О.К. Вдовина, А.А. Лаврусевич и др. // Вестник МГСУ. — 2014. — № 12. — С. 152–161.
4. *Водяницкий, Ю.Н.* Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. — 2012. — № 3. — С. 368–378.
5. *Доклад об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2011 г.* — Чита, 2012. — 134 с.
6. *Замана, Л.В.* Гидрогеохимические особенности зоны техногенеза полиметаллических месторождений Юго-Восточного Забайкалья / Л.В. Замана, Л.П. Чечель // Успехи современного естествознания. — 2015. — № 1. — С. 33–38.

7. *Криночкина, О.К.* Проявления техногенных и рудогенных аномальных геохимических полей и критерии их дифференциации / О.К. Криночкина, А.А. Лаврусевич // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 1. — С. 16–19.
8. *Левченко, Е.Н.* Техногенное минеральное сырье: особенности вещественного состава и технологических свойств, геолого-технологическое картирование / Е.Н. Левченко, Л.И. Веремеева, О.Е. Горлова // Руды и металлы. — 2018. — № 1. — С. 64–75.
9. *Менчинская, О.В.* Экологические проблемы Владикавказа / О.В. Менчинская // Геоэкологические исследования состояния окружающей среды. — М.: ИМГРЭ, 2017. — С. 136–147.
10. *Мязин, В.П.* Разработка природоохранных мероприятий по рекультивации хвостохранилищ с целью снижения загрязнения территории Забайкалья отходами горно-перерабатывающего комплекса / В.П. Мязин, В.Т. Шекиладзе // Вестник ЧитГУ, 2013. — № 06 (97). — С. 30–38.
11. *Орлов, В.П.* Современное состояние и перспективы медицинской геологии (к итогам VII конференции Международной медико-геологической ассоциации МедГео-2017) / В.П. Орлов, Е.Г. Фаррахов, И.Ф. Вольфон, В.М. Алексеев, М.В. Прозорова // Разведка и охрана недр. — 2018. — № 1. — С. 3–8.
12. *Помеляйко, И.С.* Эколого-геохимическое ранжирование селитренных зон ряда курортных и промышленных городов РФ по трем оценочным показателям загрязнения почв / И.С. Помеляйко // Геоэкология. — 2017. — № 1. — С. 28–39.
13. *Соколов, Л.С.* Выявление территорий экологического неблагополучия по результатам биогеохимических исследований / Л.С. Соколов, И.А. Морозова, С.Б. Самаев // Экология большого города. — Вып. 4. — М.: Прима-Пресс, 2000. — С. 58–63.
14. *Соколова, В.И.* Редкие металлы из техногенного сырья / В.И. Соколова, Л.З. Быховский, С.И. Ануфриева // Металлы Евразии. — 2017. — № 5. — С. 40–43.
15. *Спиридонов, И.Г.* Эколого-геохимические исследования — основа комплексной оценки и мониторинга экологического состояния территорий / И.Г. Спиридонов // Геоэкологические исследования состояния окружающей среды. — М.: ИМГРЭ, 2017. — С. 5–8.
16. *Чантурия, В.А.* Проблемы геотехнологии и недроведения: (Мельниковские чтения): Докл. междунар. конф. / В.А. Чантурия, Б.М. Корюкин // — Екатеринбург: УрО РАН, 1998. — Т. 3. — С. 26–34.
17. *Чечель, Л.П.* Эколого-гидрогеохимические последствия отработки вольфрамовых и молибденовых месторождений Восточного Забайкалья / Л.П. Чечель // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2017. — Т. 328. — № 6. — С. 52–63.
18. *Янин, Е.Н.* Техногенез и окружающая среда: эколого-геохимические аспекты / Е.Н. Янин // Геоэкологические исследования состояния окружающей среды. — М.: ИМГРЭ, 2017. — С. 8–45.

© Спиридонов И.Г., Левченко Е.Н., 2018

Спиридонов Игорь Геннадьевич // imgre@imgre.ru
Левченко Елена Николаевна // levchenko@imgre.ru

УДК 548[549:669]85.86

Лихникевич Е.Г. (ФГБУ «ВИМС»)

ОПЕРЕЖАЮЩИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ — ОСНОВА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Данные о минеральном составе исходного сырья и продуктов его химико-металлургической переработки с диагностикой всех минеральных фаз, количественной оценкой их содержания, форм нахождения в исследуемом продукте полезного компонента позволяют прогнозировать выбор технологии извлечения полезных компонентов, а также технологические показатели переработки руд. Приведены различные пиро-гидрометаллургические схемы