

**ЗОНАЛЬНОСТЬ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ
СОСТАВЛЕНИИ ОБЗОРНЫХ ПРОГНОЗНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КАРТ
ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Б.Г. Саксин, М.Б. Бубнова

Институт горного дела ДВО РАН, г. Хабаровск

Обобщены сведения о выраженности зональности техногенного загрязнения вокруг горных предприятий, которые получены разными авторами при исследовании состояния различных компонентов природной среды в районах добычи. Статистически обработаны данные по дальности переноса загрязняющих веществ от отдельных предприятий и получены предельные расстояния от источников до внешних границ различных зон загрязнения. На конкретном примере показана возможность использования предлагаемого способа определения географического положения природно-горнотехнических систем ранга рудный район на мелкомасштабных прогнозно-экологических картах.

Ключевые слова: природно-горнотехнические системы, прогнозно-экологическое картографирование, зональность загрязнения.

ВВЕДЕНИЕ

Геохимический смысл преобразования природы хозяйственной деятельностью человека и глобальный характер этого процесса первым раскрыл академик В.И. Вернадский. Академиком А.Е. Ферсманом показана существенная роль горнодобывающей промышленности в концентрировании и “безвозвратном распылении” химических элементов земной коры. По оценкам специалистов, потребность человечества в минеральном сырье неуклонно возрастает и будет возрастать в будущем. Учет этого аспекта необходим в пределах территорий, основой развития которых является добыча полезных ископаемых.

Природа происходящих сейчас трансформаций окружающей среды, их масштабы и темпы являются беспрецедентными. Глобальные изменения сложно взаимодействуют с преобразованиями локального и регионального масштабов. Однако вопросы, касающиеся исследования глобального и регионального уровней, остаются изученными недостаточно, особенно в горной экологии. По ним имеются лишь фрагментарные данные, либо первоначальные количественные оценки. Актуальность изучения региональных природно-горнотехнических систем и закономерностей их формирования и развития определяются именно этим обстоятельством.

Региональные программы, ориентированные на решение крупных государственных задач, создаются с применением специализированных картографических моделей мелкого масштаба. Такие модели являются основой для установления долговременных целей, а также для определения порядка использования имеющейся ресурсной базы региона с минимальным ущербом для окружающей среды. Как представляется, разработка способов построения подобных мелкомасштабных моделей является одной из основных в числе решаемых в рамках научного направления “региональная экология горного производства”.

Первое обобщение материалов по зональности ореолов загрязнения, которые сформированы в районах действия горных предприятий России, выполнено Ю.Е. Саетом с соавторами в 1990 г. [1]. Эти исследователи пришли к выводу, что вокруг горных предприятий, как правило, устанавливаются следующие зоны:

I – зона сильных нарушений – обычно возникает на удалении 0,5–6 км;

II – зона умеренных нарушений и загрязнений – на удалении 1,0–15 км;

III – зона слабых нарушений и загрязнений – на удалении 20–30 км.

Статистические данные, положенные в основу этих обобщенных оценок, авторами не приводятся.

Ширина интервала, в пределах которого устанавливаются характерные нарушения той или иной зоны, их взаимное перекрытие у разных зон свидетельствуют о неоднородности исходных выборок (в выборку вошли источники с неодинаковыми мощностью загрязнения, а также временем воздействия, возможно расположенные в разных природных условиях формирования техногенных потоков и т.п.).

В научных дисциплинах экологического профиля накоплен и продолжает накапливаться большой фактический материал по зональности воздействия горных предприятий на различные компоненты окружающей среды, который, по мнению авторов настоящей статьи, необходимо использовать при прогнозно-экологическом картировании. Однако он рассредоточен по многим источникам и со времени опубликования работы [1] не обобщался.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И ОПИСАНИЕ МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ

Следует отметить, что наиболее часто употребляемым методическим приёмом изучения площадных зональных явлений являются наблюдения по опорным профилям, ориентированным вкрест и по преобладающему направлению ветров в данной местности. Площадные исследования единичны и касаются крупных горно-металлургических комбинатов, региональное влияние которых на окружающую среду уже давно очевидно [2, 4, 5, 7]. В таблицу нами сведены доступные литературные данные о характеристиках зон загрязнения, которые установлены исследователями при изучении состояния компонентов окружающей среды в районах действующих горных предприятий, эксплуатирующих разнообразные эндогенные рудные месторождения полезных ископаемых. Качественные и количественные характеристики зон приведены в том виде, в каком они даны в первоисточнике. К сожалению, современная изученность вопроса не позволяет разделить собранную информацию на статистически обеспеченные группы, учитывающие ранг горного предприятия (рудник, горно-обогатительный комбинат, горно-металлургический комбинат), вид добываемого сырья, а также технологию его добычи и переработки. Поэтому при составлении таблицы авторы статьи стремились, прежде всего, показать устойчивость зональных явлений, которые фиксируются по индикаторным показателям в самых разнообразных природно-ландшафтных условиях геохимическими, биологическими и другими методами изучения состояния компонентов природной среды.

Следует оговориться, что в смежных с горной экологией научных дисциплинах (например, геоэкологии) преобладают исследования природной части

проблемы горнопромышленных территорий, а собственно в горной экологии – техногенной. В этой связи, исторически сложилось, что в число изучаемых горной экологией природных компонентов входили почвы, а биота исключалась (Мирзаев Г.Г., 1991). Только в последние годы это положение стало исправляться.

Из таблицы следует, что наиболее активно и детально вопросы изучения зональности исследовались в 1990–2000 гг., т.е. в период пристального внимания государства к экологическим проблемам России (Лаверов Н.П., 2001).

Анализ таблицы позволяет сделать следующие выводы:

- несмотря на то, что разные авторы использовали неодинаковые показатели оценки экологического неблагополучия, все они отчетливо фиксируют различие зон между собой;

- наиболее информативным и чувствительным индикатором загрязнения является состояние почвенного покрова и состояние связанных с ним биоценозов (микробных и, особенно, растительных сообществ).

Последний вывод ещё раз подтверждает справедливость представлений В.В. Докучаева (1949) об интегральной роли почв в ландшафте и об их информационных функциях, названных им “памятью ландшафта”. Объясняется это тем, что почва находится в тесной взаимосвязи с живой и неживой природой планеты. Она является продуктом взаимодействия живых организмов и горных пород. В этом продукте непрерывно происходят процессы движения воды, почвенных растворов, газов, минерализации и гумификации органических остатков [8, 10, 12]. Главным фактором естественной дифференциации вещества в почвенном слое в горизонтальном направлении является особенность строения его поверхности. Миграцией и аккумуляцией загрязнителей в вертикальном направлении управляет генетическое разнообразие почв, их кислотно-щелочные и окислительно-восстановительные показатели. Техногенное загрязнение почв (в т.ч. химическое), как правило, носит площадной характер. В этой связи нарушение почвенного покрова при освоении минерального сырья способствует нарушению глобальных процессов, характерных для развития биосферы Земли и планетарных процессов в целом. Искажается управляющая функция почв, которая обеспечивает самоорганизацию природы.

В обобщающем виде зональные явления, формируемые вокруг конкретных горных предприятий, по мнению Е.Ю. Куликовой [11], могут быть описаны следующим образом.

Таблица. Характеристика зон загрязнения, выделяемых в районах действия различных горных предприятий.

Вариации изученных индикаторов по зонам				
I зона	II зона	III зона	IV зона	Автор, год
1	2	3	4	5
Состояние растительности по отношению к фону				
<i>Горно-таежные районы Дальнего Востока</i>				
<p><i>Техногенная пустошь.</i> Безлесная, каменистая пустыня с редкими куртинами злаков и осоки с интенсивно развитой плоскостной и линейной эрозией почвы. <i>Остальная часть площади I-ой зоны.</i> Кустарниковые поросли дубняка высотой 2–2,7 м, массовое некротическое поражение листьев в течение всей вегетации и ранняя деформация, суховершинность, пораженность листоедами в конце вегетации – 80–90 % площади листьев, подлесок отсутствует или крайне разряжен и угнетен, травяной ярус образован редкими куртинами злаков и осок. Проективное покрытие 1–5 %, фрагментарно развиты угнетенные напочвенные мхи и лишайники.</p>	<i>Дубовый лес</i>		Нет данных	Аржанова В.С., Елпатьевский П.В., 1998
	Рост концентрации тяжелых металлов в растительных тканях, признаки суховершинности, некрозы листьев до 30–40 % листового покрова, диспропорция элементов	Изменение элементного состава и характеристик листовой ткани, визуальные изменения единичны.		
<i>Арктические районы (Норильск)</i>				
<p><i>Лишайниковая пустыня.</i> Древесный ярус состоит из погибших деревьев, кустарники сильно повреждены (до 60 % усохшие), кустарнички и травы повреждены на 75 %.</p>	Преобладают погибшие и усыхающие деревья, усыхает 20–50 % кустарников, в травянисто-кустарниковом ярусе повреждено до 40 %, покрытие лишайниками – > 1–5 %	В древесном ярусе до 50 % погибших лиственниц, кустарниковый ярус поврежден на 10 %, площадь покрытия лишайниками – до 20–40 %, количество их видов – 34	Растительность без признаков повреждений, только у лиственниц пожелтение хвои. Площадь лишайникового покрова до 70 %. Их видов – 34	Гитарский М.Л. и др., 1998
Сохраняется хвоя возраста 4–5 лет.	Сохраняется хвоя возраста 4–5 лет	Сохраняется хвоя возраста 9 лет.	Сохраняется хвоя возраста 9 лет	
Хлороз и некроз у 60–70 % хвои	Хлороз и некроз у 60–70 % хвои	Хлороз и некроз у 20–30 % хвои	Концы отдельных хвоинок с признаками хлороза	То же
Состояние тундровых ландшафтов				
<p><i>Техногенная пустошь.</i> Полное исчезновение растительного покрова. <i>Остальная часть площади I-ой зоны.</i> Исчезновение сплошного растительного покрова. Проективное покрытие не превышает 5–10 %. Появляются фрагменты вторичных ценозов. Сильное изменение микрорельефа, срезание бугров, смятие кочек.</p>	Значительная нивелировка рельефа. Смена естественного растительного покрова производственной растительностью, вынос растительной дернины вдоль колеи.	Малозаметная нивелировка микрорельефа. Разряжение крупных кустарников и кустарничков, незначительное смятие мохово-лишайникового покрова	Сохранение общих черт естественного растительного покрова при выпадении отдельных видов кустарников.	Пашкевич М.А., 2000

Таблица. (Продолжение).

1	2	3	4	5
Трансформация растительного покрова тундр в результате механических нарушений				
<i>Бугорковая кустарниково-зеленомошная тундра</i>				
Покрытие – Нет	50–10 % площади зоны	50–100 % площади зоны	100 % площади зоны	Пашкевич М.А., 2000
Изменение ярусной структуры – Выпадение мхов	Преобладание травянистых в ярусе	Выпадение кустарничков	Выпадение кустарничков	То же
Видовая насыщенность – Нет	2–5	6	10–13	–“–
Высота – Нет	1–1,5 см	5–10 см	10–15 см	–“–
<i>Кустарничково-ерниково-ивняково-зеленомошная на плоских бугорках</i>				
Покрытие – Нет	30–50 % площади зоны	50–100 % площади зоны	100 % площади зоны	–“–
Изменение ярусной структуры – Выпадение мхов	Преобладание травянистых	Выпадение кустарничков	Выпадение кустарничков	–“–
Видовая насыщенность – Нет	5	4	6	–“–
Высота – Нет	10–15 см	15–20 см	20–30 см	–“–
Состояние растительных сообществ в степных ландшафтах				
Почти полное уничтожение естественной коренной растительности	Доминирование вегетативно подвижных видов. Увеличение доли адвентивных ксерофитов, малолетников и рудеральных видов	Смены в составе эдификаторов с последовательным усилением биоценотической роли более ксерофитных видов. Изменение морфологических характеристик видов	Выпадают редкие аборигенные виды, изменяется структура эдификаторной синузии	Востоков Е.А., Гунин П.Д., Буян-Орших Х. и др., 1993
Возможность самовосстановления природной среды				
Внутренняя зона глубоких качественных экологических изменений, включающая подзоны техногенной пустоши, промышленной застройки, регрессивных сукцессий.	Промежуточная зона характеризуется частичной видовой и структурной перестройкой функциональных связей между отдельными объектами биоценозов	Внешняя зона характеризуется количественными экологическими изменениями естественных биоценозов или надкларковых изменений загрязняющих веществ. Отдельные растения и организмы могут накапливать вредные вещества		Мирзаев Г.Г., 1984
Отличительная особенность – необратимость восстановления природной среды (ее качества и продуктивности) естественным путем в обозримые сроки.	Структурные и функциональные изменения в биоценозе могут восстанавливаться естественным путем после полного прекращения эксплуатации месторождения			Мирзаев Г.Г., 1984
Фазы техногенных сукцессий				
Фаза полного разрушения экосистемы	Фаза частичного разрушения экосистемы	Фаза структурных перестроек экосистемы	Фаза выпадения чувствительных видов	Borman F.N., 1982
Содержание тяжелых металлов в почвах				
от 100 до 4000 фоновых	от 10 до 5 фоновых	от 5 до 2 фоновых	от 2 до 1,1 фоновых	Иванченко А.М. и др., 1998
Урожайность с/х культур				
Падает на 60 %	нет данных	нет данных	Падает на 10 %	
Коэффициент экологической напряженности $K_{эн}$				
$K_{эн} = 10$	$K_{эн} = 5 - 10$	$K_{эн} = 2 - 5$	$K_{эн} = 1 - 2$	Подвиженский и др., 1988

Таблица. (Окончание).

1	2	3	4	5
Превышение ПДК пылеобразования в атмосфере				
> 10 ПДК	2–10 ПДК	менее 2 ПДК	1–2 ПДК	Кислицин Л.В. 1999
Превышение ПДУ химического загрязнения почв				
> 10 ПДУ	2–10 ПДУ	менее 2 ПДУ	не превышает ПДУ	
Уровень химического загрязнения почв				
> 10 ПДК	5–10 ПДК	до 5 ПДК	ниже ПДК	Островский В.Н. и др., 1992 Трофимов В.Т., 1997
Удельное пыленакопление на поверхности почвы				
до 1000–1500 кг/(га·год)	100–500 кг/(га·год)	меньше 100 кг/(га·год)	меньше 100 кг/(га·год)	[13]
Степень деградации почв				
Очень сильно деградированные (ограниченность использования территории для существования человека и размещения на ней производств жизнеобеспечения)	Сильно деградированные (ограниченность существования биоты)	Средне деградированные (природные биоцинозы сильно угнетены)	Слабо деградированные (первичные признаки угнетения отдельных видов биоценозов)	Крупская Л.Т., Никитина З.И., 2000
Способность почв к микробиологическому очищению				
Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	То же
Способность экосистем к природной санации от тяжелых металлов				
Очень низкая	Низкая	Средняя	Высокая	–“–
Уровень химического загрязнения почв				
Чрезвычайно высокий (> 3 ПДК)	Высокий (2–3 ПДК)	Средний (1,5–2,0 ПДК)	Низкий (1–1,5 ПДК)	Крупская Л.Т., 2000
Состояние микроорганизмов				
Полное подавление роста и развития микроорганизмов (зона репрессии)	Снижение разнообразия микробного сообщества (зона резистентности)	Состав сообщества постоянен, а структура изменяется (зона стресса)	Структура и состав сообщества стабильны и практически неотличимы от фоновых (зона гомеостазиса)	Никитина З.И., 1991 Кондратьева Л.М., 2000
Состояние растительных сообществ				
Сплошная гибель растительных сообществ	Гибель и угнетение большей части растительных сообществ и замена более устойчивыми	Гибель отдельных деревьев	Нет данных	Сает Ю.Е. и др., 1990

I зона – зона структурной перестройки. Качественно новая система с измененной пространственной и видовой структурой и новыми экологическими связями между компонентами. Восстановление качества и продуктивности природных компонентов естественным путем в обозримые сроки невозможно. Необходимы специальные мероприятия инженерной защиты, направленные на восстановление природной среды. По нашим оценкам, до 50 % общей площади I-ой зоны занимает её центральная часть, которая рядом исследователей именуется техногенной пустошью. Техногенная пустошь – территория с высоким уровнем загрязнения, примыкающая непосредственно к горному предприятию, где естественные ландшафты уничтожены полностью на 60 % площади, а иногда и более.

II зона – зона функциональной перестройки. Между отдельными элементами экосистемы, как и между отдельными структурными элементами природной среды, перестраиваются функциональные связи. Это меняет качественные и количественные характеристики естественной экологической системы. Продуктивность её снижена. После полного прекращения эксплуатации рудного месторождения возможно восстановление естественным путём.

III зона – зона количественных изменений основных характеристик естественной экологической системы. Нарушаются только количественные показатели ряда природных процессов. Качественных изменений внутри природных объектов, а также нарушений функциональных связей между этими природными объектами не наблюдается. Интенсивность ряда экологических процессов может снижаться, а продуктивность падать.

IV зона – зона информационной перестройки. Концентрация вредных веществ меньше ПДК, но больше кларка (фона). Изменения не приводят к перестройке структуры и функционирования природных систем, продуктивность которых практически сохраняется на том же уровне.

Резких границ между зонами не устанавливается, а вариации измеряемых параметров внутри них (кроме разве I-ой зоны) значительны и имеют тенденцию нарастания по мере удаления от источника загрязнения. Выражается это в их “пятнистом” строении (незакономерное чередование участков с разной степенью поражения компонентов природной среды), которое фиксируется при съемках по сети. В этой связи наиболее устойчивой сопоставительной характеристикой по зоне является среднее (или модальное) значение параметра в ее пределах. Описанные закономерности объясняются совместным дей-

ствием очень многих факторов технологического, природно-климатического, миграционного, химического и т.п. характера. Эти факторы управляют воздушным переносом и осаждением пылегазовых выбросов, пылевых ореолов и аэрозолей. В отличие от водных и воздушных потоков рассеяния, аномальные концентрации загрязняющих веществ в почвах отражают интегральное воздействие источника загрязнения или их группы на данную конкретную территорию за весь период их существования [14]. Практически для всех исследованных химических элементов, на относительно удаленных от источника территориях, в выпадениях из атмосферы преобладают растворенные формы. Близ источника, наряду с увеличением общей массы выпадений, доля растворенных форм в них резко уменьшается.

Кроме того, необходимо учитывать и то обстоятельство, что как границы зон, так и их площадные размеры находятся в постоянном динамическом развитии. В литературе описан пример повторного проведения наблюдений в районе Норильского горно-металлургического комбината (первичное наблюдение – 1978 г., повторное – 1985 г.). Мощность производства за этот период возросла в 1,5 раза. Площадь поражения лесов (I и II зоны) увеличилась в 2 раза. При этом границы погибших лесонасаждений сдвинулись на 60–120 км. Конечно, на горных предприятиях, которые не имеют металлургического передела, темпы поражения будут более скромными, но общая тенденция останется такой же.

Для определения географического положения границ зон экологических изменений, как считает большинство исследователей [6], необходимо применение методов натурного изучения (геохимических, биогеохимических съёмок, либо биологических и геохимических исследований по опорным профилям), или методов математического моделирования водного и воздушного переноса с учётом рельефа, гидрографии и метеоданных. По мнению других [3, 9], наметить положение зон возможно по данным интерпретации результатов дистанционных (аэрокосмических) методов изучения, которые заверяются наземными работами. Главными индикаторами при этом служат состояние растительного покрова и общая запыленность атмосферы, выявляемая различными видами съёмок. В любом случае, ведущими критериями для определения положения границ являются признаки, позволяющие оценивать экологическое состояние компонентов природной среды, которые установлены прямыми наблюдениями или опосредованно. Препятствием для широкого использования аэрокосмических и натуральных методов служит их высокая стоимость.

В связи с изложенным, авторы статьи пытались обосновать экономичный и экспрессный способ определения максимального удаления внешних границ различных зон загрязнения от отдельного горного предприятия, которое эксплуатирует месторождения рудного полезного ископаемого. С этой целью проработан литературный материал, который показал, что для разных объектов степень изученности негативного воздействия горных работ на окружающую среду очень неодинакова. Чаще всего для ее оценки приводятся сведения о протяженности и химическом составе техногенного потока, сформированного в долине реки, дренирующей район разрабатываемого месторождения. Поток картируется путем опробования поверхностных вод, донных осадков, иногда почвенного покрова по системе пересечений или равноудаленных точек. Гораздо реже приводятся примеры площадного изучения различных зон загрязнения с использованием опробования по сети почвенного слоя, снежного покрова, реже – укосов травы. При этом обычно указывается радиус зоны загрязнения, расстояние переноса, реже – размер и конфигурация загрязненной площади. По мнению Шапаря А.Г. [15], обусловлено это тем, что до середины 80-х годов все исследователи загрязнения, обусловленного горным производством, рассматривали преимущественно его линейно-пространственную направленность.

Нами предпринята попытка собрать и статистически обработать опубликованные данные по зафиксированной дальности переноса загрязняющих веществ от конкретных горных предприятий Мира.

Всего удалось найти подобную информацию по 70 разноранговым горным предприятиям, которые эксплуатировали различные рудные месторождения сроком от 10 до 150 лет. В сводную выборку вошли предприятия, которые открытым или подземным способом эксплуатируют коренные месторождения (разного масштаба) следующих металлов: Fe, Pb, Zn, Cu, Ni, Mo, W, Sn, Hg, U, редкие металлы, Au, Al, Ng. К сожалению, из-за статистической необеспеченности, не удалось составить конкретные выборки, увязывающие линейные показатели загрязнения с типом добываемого сырья, масштабами месторождения, а также временем и способом его отработки и т.п. Вероятно подобная возможность появиться в будущем.

Дальность переноса определялась по воздушной и водной средам. Результаты обобщения этих данных представлены в виде гистограммы, которая в первом приближении может быть описана экспоненциальной зависимостью. Форма осредненной кривой соответствует форме кривой, которая получена М.А. Пашкевич [13] при изучении связи: удельное пыленакопление на поверхности – расстояние от техногенного мас-

сива. Однако на прилагаемой гистограмме (рис. 1) видны и существенные отклонения от подобной зависимости, которые неплохо корреспондируют с априорной информацией о выше охарактеризованных зональных явлениях. С учетом этого обстоятельства допустимо аппроксимировать полученное распределение частот встречаемости при помощи 3-х непрерывных вариационных кривых, подчиняющихся нормальному закону). Взаимное перекрытие левых и правых ветвей (особенно 1-ой и 2-ой зон) объясняется, прежде всего, неоднородностью анализируемой генеральной совокупности, которая была охарактеризована выше. С целью преодоления данного обстоятельства тестирование вариационных кривых проводили, в том числе, и по четкому различию их модальных интервалов, а также по величине объясненной дисперсии. С большим отрывом от 3-х первых зон (соответствуют 3-м вариационным кривым) намечается четвертая. Негативные изменения природной среды на подобных расстояниях от источника загрязнения фиксируются вокруг совокупности рудников (50 оловорудных предприятий Тасмании), в районах действия крупных горнопромышленных комплексов (Норильский, Кольский, Губкинско-Старооскольский, Колымский) или по долинам рек, дренирующих площади, в пределах которых предприятия расположены высоко в горах (Кавказ, Апеннины). Однако к настоящему времени статистического материала по этой группе недостаточно, в связи с чем далее она не рассматривается.

Четкая выраженность первых трех зон свидетельствует о существовании общей закономерности пространственно-линейного развития химического загрязнения. Отклонение от этого правила статистически незначимы и относятся к весьма крупным объектам, к горнопромышленным комплексам типа Норильского. Изложенное позволяет использовать полученную общую закономерность для предельных (прогнозных) оценок статистических параметров 3-х названных зон загрязнения.

Способ предельных оценок (по минимально возможному или максимально возможному значению того или иного параметра) широко используется в науке, когда точных исходных данных недостаточно. Поскольку в прогнозных экологических построениях требуется не допустить неоправданно оптимистического прогноза, способ предельных оценок (по максимуму) вполне применим.

В совокупности первые три зоны составляют 88,6 % от рассмотренной генеральной совокупности. Устойчивость их (относительная независимость от климатических особенностей территории и специфики полезного ископаемого) подтверждается как нашими данными, так и вышеперечисленными обоб-

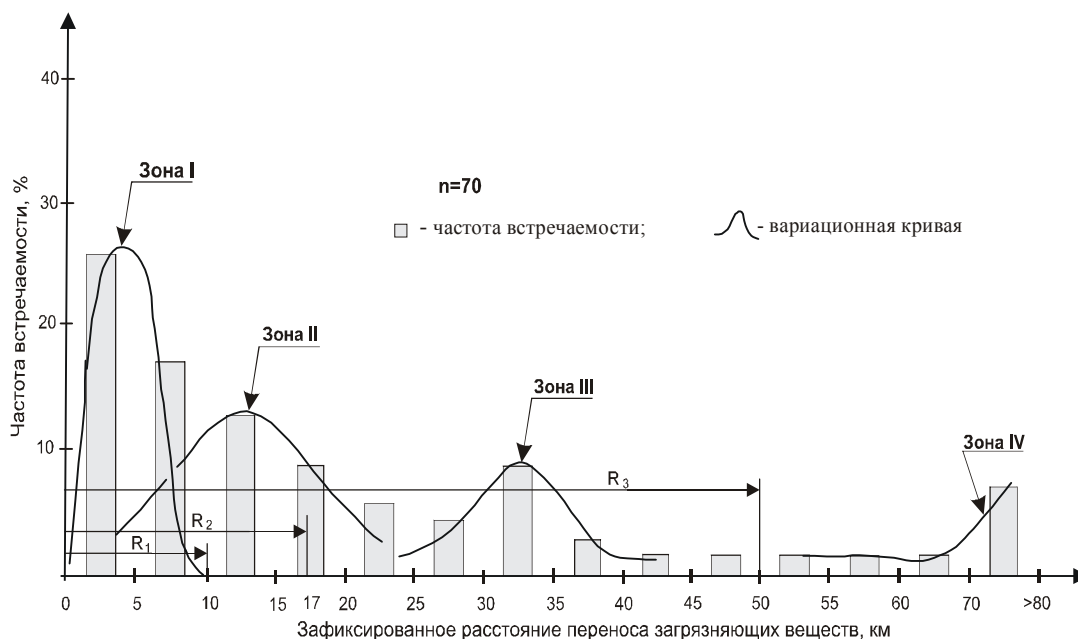


Рис. 1. Гистограмма распределения зафиксированных расстояний переноса загрязнения от горных предприятий Мира.

R_1 , R_2 , R_3 – радиусы зон воздействия, установленные по удельному пыленакпению на поверхности почв [13]. Mo – модальное значение соответствующего распределения; S – стандартное отклонение; n – число случаев. Зона I – $Mo_1 = 4,5$ км, $S = 2,5$ км, интервал – 0–10 км; зона II – $Mo_2 = 14$ км, $S = 4,5$ км, интервал – 1–30 км; зона III – $Mo_3 = 32$ км, $S = 3,0$ км, интервал – 20–45 км; зона IV – $Mo_4 > 80$ км.

щающими работами по России и ее отдельным регионам. Вероятно, реально существующие различия дальности переноса загрязняющих веществ, связанные с географическим местоположением источника загрязнения, укладываются в интервал $\pm 3 S$. Отсюда в качестве предельной величины линейного переноса загрязняющих веществ в зоне мы можем обоснованно принять значение $Mo + 2 S$ (что обеспечивает вероятность $P = 0,95$), где S – стандартное отклонение, Mo – модальное значение, P – вероятность. Именно такие предельные значения рекомендуется использовать при построении.

Неуклонное снижение процента встречаемости модального интервала от зоны I к зоне IV, в том числе, может быть объяснено и снижением степени изученности отдельных зон, которое реально уменьшается в этом же направлении. Более всего эмпирических данных накоплено по зоне I, соответствующей сильным нарушениям и изменениям природной среды. Для получения исходных данных по более удаленным зонам необходим охват опробованием значительных площадей, что связано с существенными финансовыми затратами. Сказанное является основной причиной немногочисленности примеров описания параметров II, III и IV зон. Это не соответствует фактическому положению дел, поскольку из-

вестно, что за 30–40 лет практически неосвоенная территория преобразуется в крупный горнопромышленный район (площадь 30–50 тыс. км²) или территориально-промышленный комплекс (площадь сотни тыс. км²). Радиус зоны III при этом достигает 50–100 км. Такие зоны относятся к эколого-геохимическим зонам “невидимого” и “неконтролируемого” риска и поэтому являются наиболее непредсказуемыми, опасными и трудно устранимыми.

Следует также отметить, что многие исследователи (Сагт Ю.Е. с соавторами, Бугаева Г.Г., Крюков В.В., Кобань Р.Т. и Руднева И.А., Шилов И.И., Востоков Е.А. с соавторами и многие другие) приводят интервалы удаления перечисленных зон от источника загрязнения, которые определены при натурном изучении окрестностей разных горных предприятий. Эти показатели у соседних зон взаимно перекрываются, хотя средние значения по интервалу отчетливо различны, а величина их устойчиво возрастает от зоны к зоне. Описанные эмпирические закономерности отчетливо выражены и на рис. 1.

В качестве независимых данных, подтверждающих правомочность принятого варианта аппроксимации гистограммы, на этом же рисунке вынесены радиусы зон воздействия техногенных массивов, установленные М.А. Пашкевич [13] при прямом изуче-

нии изменения удельного пыленакопления на поверхности почв в зависимости от расстояния до источника загрязнения. Видно удовлетворительное совпадение предельных расстояний до внешних границ соответствующих зон, которые получены этими независимыми способами. Таким образом, несмотря на упомянутую выше неоднородность генеральной совокупности, построенная гистограмма в целом отразила те же закономерности, которые известны по данным натурального картирования конкретных регионов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Описанные закономерности возможно использовать при прогнозировании вариантов развития экологической ситуации в рудном районе, которые, как правило, представлены группой пространственно сближенных месторождений. Известна географическая предопределенность позиций горных предприятий (всегда вблизи эксплуатируемых месторождений) и полная независимость местоположения рудных месторождений от природно-климатической зональности Земли, которая присуща другим природным ресурсам. С другой стороны, центр самых значительных и контрастных выпадений, образованных выбросами горного предприятия, всегда приурочен к промышленным площадкам (горному отводу). Исходя из этого, а также принципа иерархичности региональных природно-горнотехнических систем, первым этапом прогнозно-экологического картирования является предварительная оценка географического положения самого мелкого объекта – рудного района. Её можно выполнить способом проведения правильных окружностей с радиусами, равными максимальному значению удаления от эпицентра загрязнения (соответствует точке расположения эксплуатировавшегося или подготовленного к эксплуатации месторождения) на регистрационной карте. В результате выполнения описанной процедуры, по слиянию границ третьих зон загрязнения, выделяется площадь, соответствующая природно-горнотехнической системе ранга рудный район. В её пределах далее проводят уточнение конфигурации и размеров с использованием другой информации (положение дренирующей гидросети, водоразделов и хребтов, преобладающего направления ветров и т.п.). По композиции рудных районов затем определяют положение региональной природно-горнотехнической системы ранга область и провинция.

На рисунке 2 представлен пример сопоставления данных, которые получены предлагаемым методом и при помощи традиционно выполняемого эколого-геологического картирования одного из типовых рудных районов Приморского края. Сопоставле-

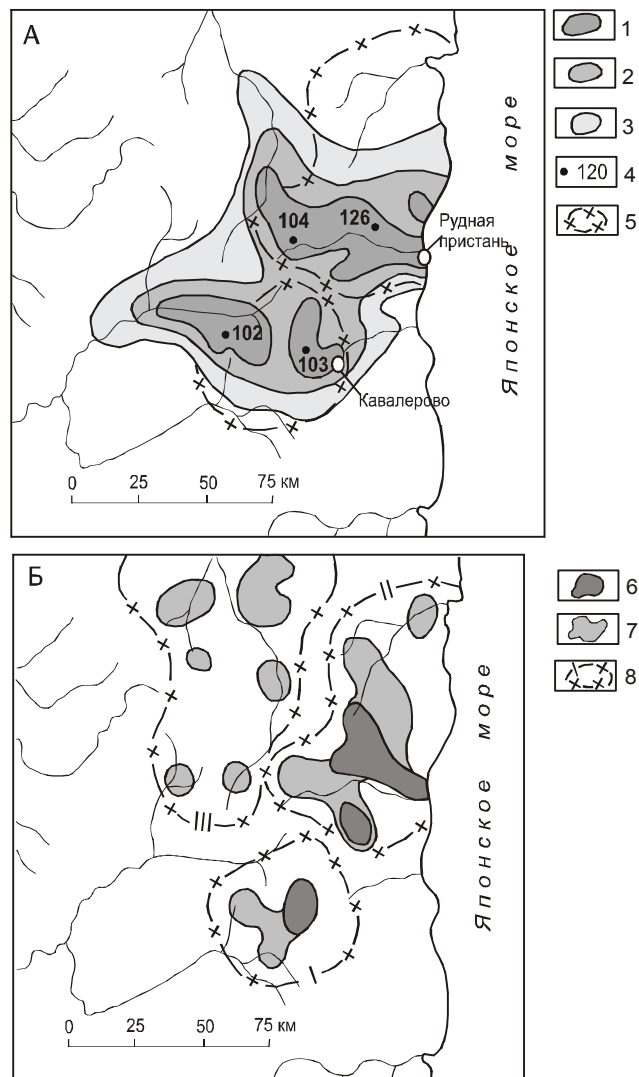


Рис. 2. Пример сходимости результатов определения положения различных зон загрязнения. Положение зон загрязнения: Приморский край. Дальнегорский и Кавалеровский рудные районы.

А – по предлагаемой методике; Б – по данным эколого-геологического картирования (по А.И. Бурого, 2000).

1 – первая зона загрязнения от действующих горных предприятий; 2 – вторая зона загрязнения; 3 – третья зона загрязнения; 4 – бальная оценка экологического риска освоения месторождений в эпицентрах (аномальные значения более 75 баллов); 5 – контуры экологически неблагоприятных районов, показанных на рис. Б; 6–8 – оценка степени химического загрязнения почв: 6 – критическая; 7 – напряженная; 8 – границы и номера экологически неблагоприятных районов: I – Кавалеровский; II – Дальнегорский; III – Верхне-Иманский.

ние показывает общую непротиворечивость результатов. Имеется в виду удовлетворительное (для мелкого масштаба) совпадение площадей и морфологии контуров районов интенсивной добычи цветных и

редких металлов, которые установлены разными способами. При эколого-геохимическом картировании дополнительно выделен Верхне-Иманский район, где добычные работы не проводились, но имеется естественная геохимическая аномальность, обусловленная наличием на поверхности рудных объектов различного ранга. Аналогичная аномальность зафиксирована этим способом и в северной части Дальнегорского района.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, факт существования зональных явлений вокруг горнодобывающих предприятий является доказанным. Наиболее отчетливо они проявлены в изменении состояния (в т.ч. геохимического) почвенного покрова и биоты. Использование этого обстоятельства при составлении обзорных прогнозно-экологических карт сырьевых регионов позволяет придать им отраслевую направленность, существенно снизить финансовые затраты. Подробнее с предлагаемым методом экономичного и экспрессного построения обзорных прогнозно-экологических карт можно ознакомиться в работе [14].

ЛИТЕРАТУРА

1. Геохимия окружающей среды (Саэт Ю.Е., Равич Б.А., Янин Е.П. и др.). М.: Недра, 1990. 355 с.
2. Гитарский М.Л., Карабань Р.Т., Сисичина Т.И. Оценка критических уровней концентрации диоксида серы в атмосферном воздухе для северных лесов России // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. Т. XVI. СПб: Гидрометеоздат, 1996. С. 37–49.
3. Головкин В.А., Козодеров В.В., Кондранин Т.В. Модель комплексной оценки устойчивого развития региональных экосистем по данным спутниковых и наземных наблюдений // Научные исследования высшей школы по экологии и рациональному природопользованию: СПб.: Санкт-Петербург. горный ин-т, 2000. С. 155–158.
4. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во Уральского ун-та, 1991. 256 с.
5. Ершов Э.Д., Чижов А.Б., Гаврилов А.В., Максимова Л.Н. Геоэкологические условия криолитозоны. // Геоэкология. 1993. № 2. С. 3–17.
6. Иванов Б.А. Инженерная экология. Л.: Ленингр. ун-т. 1989. 150 с.
7. Иванченко А.М., Дергилев М.А. Состояние окружающей среды в зоне техногенного влияния горных предприятий Губкинско-Старооскольского района КМА // Горный журнал. 1998. № 9. С. 57–59.
8. Ивлев А.М., Дербенцева А.М. и др. Почвенно-экологическое картографирование: Учеб. пособие. Владивосток: Изд-во Дальневосточ. ун-та, 2005. 104 с.
9. Калмыков А.А., Коберниченко В.Г., Елфимов В.И. Разработка радиоэлектронных систем дистанционного зондирования и оптимизация их применения для решения задач экологического мониторинга // Научные исследования высшей школы по экологии и рациональному природопользованию: СПб.: Санкт-Петербург. горный ин-т, 2000. С. 155–158.
10. Крупская Л.Т. Охрана и рациональное использование земель на горных предприятиях Приморья и Приамурья. Хабаровск: Приморское геогр. об-во, 1992. 174 с.
11. Куликова Е.Ю. Теоретические основы защиты окружающей среды в горном деле: Учеб. пособие для вузов. М.: Изд-во "Горная книга", 2005. 611 с.
12. Ломоносов И.С. Основные процессы техногенного рассеяния и концентрирования элементов и принципы их оценки // Геохимия техногенных процессов. М.: Наука, 1990. С. 26–60.
13. Пашкевич М.А. Техногенные массивы и их воздействия на окружающую среду. 2000. Санкт-Петербург. горный ин-т. СПб.: 230. с.
14. Саксин Б.Г., Крупская Л.Т., Ивлев А.М. Региональная экология горного производства. Хабаровск: Изд-во ИГД ДВО РАН, 2001. 233 с.
15. Шапарь А.Г. и др. Методические подходы к выбору стратегии устойчивого развития территории. Днепропетровск, 1996. Т. I. 159 с.

Поступила в редакцию 10 мая 2006 г.

Рекомендована к печати В.Ю. Мамаевым

B.G. Saksin, M.B. Bubnova

Zoning of man-caused pollution, and its use in compilation of prediction ecology general maps of mining-and-industrial territories

Data on the evident zoning of man-caused pollution around mining enterprises obtained by different authors during investigations of the state of various components of natural environment in the extraction area are summarized. Data on the distance of pollutants transport from separate enterprises were processed, and marginal distances from the sources to the outer boundaries of different pollution zones were computed. A possibility of using the proposed method to determine the geographic position of natural mining systems of the ore district rank on small scale prediction ecology maps is specifically exemplified.

Key words: natural mining systems, prediction ecology mapping, pollution zoning.