

УДК 504.05:622.342.1

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ГОРНОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Т. Н. Александрова, Л. Н. Липина\*, Н. И. Грехнев\***

*Национальный минерально-сырьевой университет “Горный”,  
ВО, 21 линия, 2, 199106, г. Санкт-Петербург, Россия, E-mail: IGD@rambler.ru,  
\*Институт горного дела ДВО РАН, E-mail: IGD@rambler.ru,  
ул. Тургенева, 51, 680000, г. Хабаровск, Россия*

На примере Многовершинного ГОКа проведена геоэкологическая оценка с использованием геоинформационных технологий техногенного воздействия горного производства на природную среду. Выполнено зонирование территории влияния горноперерабатывающего предприятия по комплексному индексу загрязнения атмосферы. Используются методы дистанционного зондирования Земли.

*Горноперерабатывающее предприятие, геоэкологическая оценка, геоинформационные технологии, комплексный индекс загрязнения атмосферы*

Экологические проблемы загрязнения окружающей среды особо остро стоят для регионов, основа экономики которых — деятельность предприятий по добыче и переработке минерального сырья. При разработке месторождений открытым способом в техногенные миграционные потоки вовлекаются все основные источники распространения загрязняющих веществ. Негативное воздействие горного производства на окружающую среду существенно видоизменяет литосферу, гидросферу, атмосферу, а также ее естественную биоту.

В настоящее время экологическое состояние природной среды в зоне действия горных предприятий остается напряженным, а уровень контроля загрязнения горными работами недостаточен. Следует отметить, что локальными проблемами негативного воздействия горных предприятий юга Дальнего Востока на компоненты окружающей среды занимались многие исследователи [1–3]. На геоэкологическую сторону вопроса обратили внимание при изучении “старых” рудных районов России [4–6].

Результатом воздействия горного производства является образование техногенных массивов — геологических тел техногенного происхождения, представленных горными породами, отходами обогащения, золами, шлаками, которые тесно взаимодействуют с окружающей средой.

В связи с этим актуальны исследования по геоэкологической оценке состояния компонентов природной среды в зоне влияния горных предприятий, в том числе и по моделированию с использованием информационных технологий процессов переноса и накопления загрязняющих веществ на определенной территории. Для решения подобного круга задач природоохранной

деятельности важным моментом является разработка новых принципов и методов оценки с использованием современных геоинформационных систем (ГИС) состояния природной среды с учетом всех видов антропогенного воздействия.

При разработке месторождений открытым способом особое значение имеет воздушный перенос загрязняющих веществ. Многочисленные вредные вещества, поступающие в атмосферу от техногенных источников, перемещаются в ветро-пылевых потоках, а с изменением физического состояния воздуха осаждаются на почвенно-растительный покров. В воздушном бассейне происходят фотохимические процессы, приводящие к появлению новых соединений, иногда более токсичных, чем исходные [7].

Техногенная нагрузка в общем виде может быть оценена по показателям изъятия, привноса и перемещения веществ, отраженным в принятых формах статистической отчетности: № 2 ТП (воздух). Указанные данные позволяют представить объемы выбросов вредных веществ в атмосферу. Вместе с тем на основании этих данных нельзя узнать степень их трансформации и совокупного воздействия на атмосферу и пространственное распространение. Такую информацию позволяют получить компьютерные динамические модели, создаваемые при помощи геоинформационных технологий. Совокупность приемов, способов и методов применения программно-технических средств обработки и передачи информации дает возможность реализовать функциональные данные геоинформационных систем [8]. Принципиальное отличие ГИС от экологических баз данных состоит в том, что ГИС пространственно ориентированы благодаря использованию картографической основы (цифровой карты). Базовыми компонентами ГИС являются пространственные данные о географических объектах, включающие сведения об их местоположении и свойствах. Тематические слои в геоинформационной системе сопровождаются атрибутивными базами данных (БД), содержащими необходимую для геоэкологических исследований информацию: цифровую, описательную, графическую.

На региональном уровне территория, расположенная в зоне влияния Многовершинного ГОКа, характеризуется напряженной экологической ситуацией [9, 10]. Детализация экологических показателей, уточнение ареалов техногенного загрязнения на локальном уровне — важная задача геоэкологических исследований. Выявление источников загрязнения атмосферы, определение показателей их воздействия — один из существенных этапов в процессе оценки техногенных нагрузок на атмосферу и экосистему в целом. Учитывая сложность проведения экологических оценок, необходимость обработки большого объема информации и анализа пространственных данных для решения поставленных целей необходимо использовать геоинформационные технологии.

*Все информационные реестровые компоненты, занесенные в специализированные базы данных ГИС, интегрированы с геодезической и топографической информацией цифровой карты. Созданная картографическая основа с помощью программного обеспечения MapInfo, а также обработки материалов космических снимков, получаемых из системы ГЛОНАС и GPS со спутников Космос, Landsat, представляет собой визуализацию в отдельных слоях следующих элементов: рельефа, гидрографической сети, населенных пунктов, объектов горнодобывающего предприятия, лесных массивов.*

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха при добыче и переработке рудной массы золоторудного месторождения Многовершинное являются технологические процессы, связанные с добычей и транспортировкой горной массы, переработкой руды на золотоизвлекательной фабрике (ЗИФ), добычей и переработкой известняка (карьер известняка и

участок получения комовой извести), теплоэнергетическими объектами, автозаправочной станцией на площадке ЗИФ, хвостохранилищем, цехом ремонта горного оборудования на площадке автотранспортного цеха.

*Источники загрязнения приземной атмосферы систематизированы на основе данных предприятия по типам (организованные, неорганизованные; стационарные и подвижные). Расчетный метод основан на данных материального баланса, сведениях об удельных нормах выбросов, протекания технологических процессов. В расчетах учитывались физико-географические и климатические условия местности, фоновое загрязнение воздушного бассейна, расположение и производительность предприятия [11].*

Для оценки приземных концентраций загрязняющих веществ в воздухе от источников загрязнения выполнены расчеты в соответствии с требованиями ОНД-86. Уровень загрязнения рассчитан отдельно для каждого вредного вещества и групп веществ, обладающих эффектом суммаций вредного воздействия. Расчеты проведены с использованием программного комплекса “Атмосфера” (версия 3.0). Размер расчетного прямоугольника принят 5000×8000 м с шагом расчетной сетки через 1000 м. Выходная информация, полученная по модели — значение в каждой точке с учетом реализации полной группы ветров за интересующий отрезок времени частоты (вероятности) превышения ПДК<sub>сс</sub> с последующим построением опасных зон [12].

Уровень загрязнения рассчитан отдельно для каждого вредного вещества и групп веществ, обладающих эффектом накопления вредного воздействия. Загрязняющие вещества, выбрасываемые в атмосферу, рассматриваемыми источниками образуют 8 групп суммаций: серная кислота + диоксид серы, оксид азота + оксид углерода + гексан + формальдегид, свинец + диоксид серы, серная кислота + диоксид серы, диоксид серы + сероводород, диоксид азота + диоксид серы, диоксид серы + фтористые газообразные соединения, сероводород + формальдегид, азотная кислота + гидрохлорид + серная кислота.

Хвостохранилище представляет собой гидротехнический концентрированный массив мелкодисперсных отходов ЗИФ, которые содержат соли тяжелых металлов, а также токсичные вещества, применяемые в качестве реагентов при переработке и обогащении руд (цианиды, кислоты, сульфаты и т. п.). Неблагоприятная экологическая ситуация с хвостохранилищем и карьерами на территории усугубляется еще и тем, что многие из них размещены на слабоустойчивых долинных и склоновых площадках, в непосредственной близости к населенному пункту. Анализ изменения содержания токсичных компонентов в зависимости от направления ветра проведен с использованием статистической регрессионной обработки данных на базе ГИС “Экограф”. Перенос неорганической пыли от центра хвостохранилища по направлениям господствующих ветров в зависимости от расстояния представлен на некоторых диаграммах (рис. 1), а результаты регрессионной обработки — в табл. 1.

Полученные зависимости позволяют прогнозировать пространственное распространение пыли неорганической по господствующим направлениям ветра.

Для детализации экологических показателей, для выявления локальных критических зон загрязнения создана пространственная картосхема (рис. 2) на основе данных расчетного мониторинга приземных концентраций загрязняющих веществ в воздухе от источников загрязнения исследуемого объекта с использованием цифровой картографической основы исследуемого района. Состояние атмосферного воздуха оценивалось с помощью комплексного индекса загрязнения атмосферы (КИЗА).

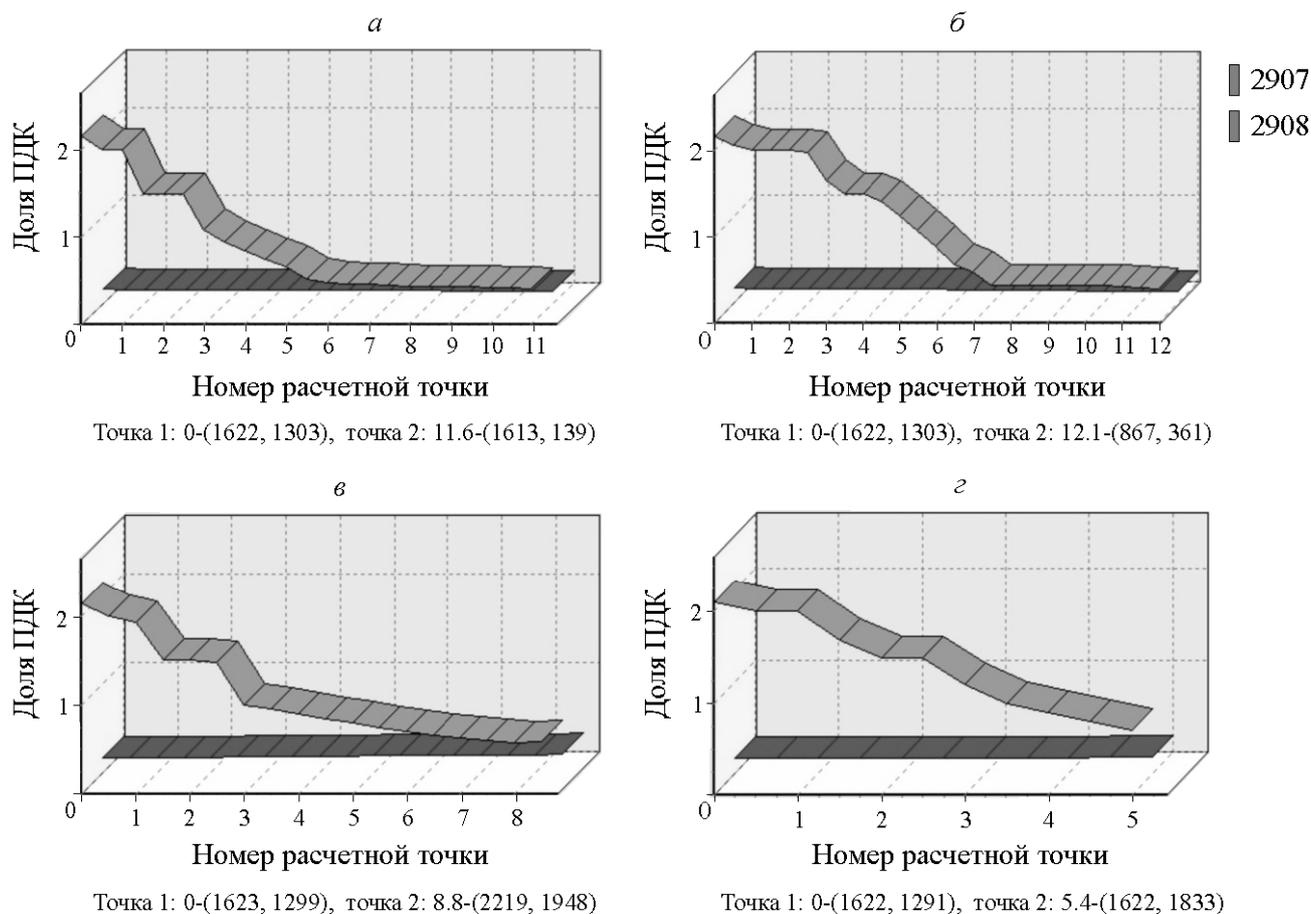


Рис. 1. Результаты программного расчета в ГИС-редакторе “Экограф” — диаграммы суммарного распределения пыли неорганической (2907 и 2908) в долях ПДК в зависимости от направления переноса: а — от центра хвостохранилища на юг (точка 1 — центр хвостохранилища (координаты: X-1622, Y-1303 на расчетной площадке (рис. 3), где за “0” принят нижний левый расчетный узел); точка 2 — окончание исследуемого отрезка (координаты: X-1613, Y-1391)); б — от центра хвостохранилища на северо-восток; в — от центра хвостохранилища на северо-запад; г — от центра хвостохранилища на север

ТАБЛИЦА 1. Регрессионная обработка данных расчетного мониторинга приземного слоя атмосферы

Номер п/п	Направление выноса пыли	Функция*	Коэффициент корреляции
1	Юг	$y = 2.0846e^{-0.0041*x}$	0.98
2	Юго-запад	$y = 1.8818e^{-0.0052*x}$	0.97
3	Юго-восток	$y = 2.9877e^{-0.0074*x}$	0.88
4	Северо-запад	$y = 1.7985 - 0.0011x + 2.8908E - 7*x^2 - 2.316E - 11*x^3$	0.74
5	Северо-восток	$y = 1.1822e^{-0.0034*x}$	0.84
6	Север	$y = 2.4832e^{-0.0043*x}$	0.98

\*Расстояние от центра хвостохранилища в метрах;  $y$  — концентрация вещества (пыль неорганическая 20–70% SiO<sub>2</sub>) в долях ПДК;  $e$  — основание натурального логарифма

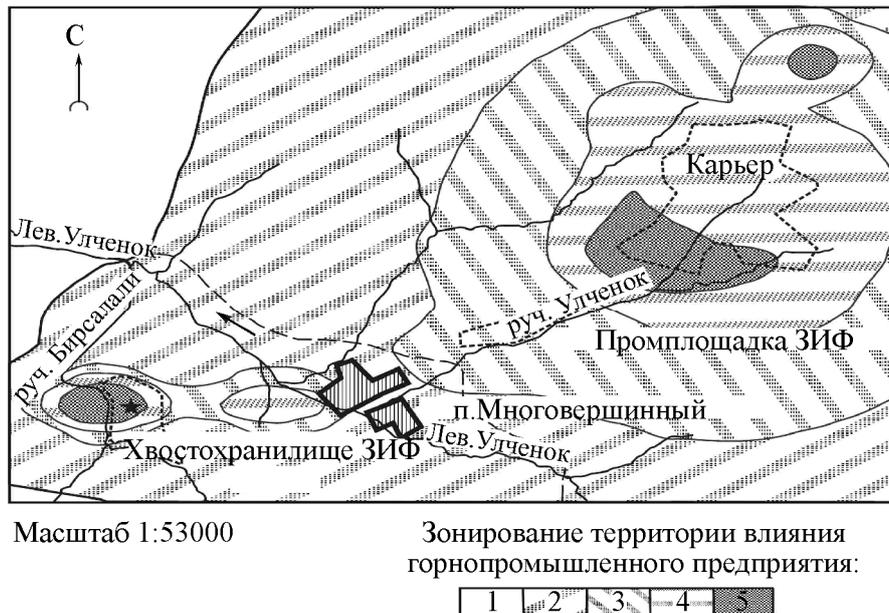


Рис. 2. Зонирование территории влияния горнопромышленного предприятия по КИЗА: 1) 0–0.5; 2) 0.5–1.0; 3) 1.0–1.5; 4) 1.5–2.0; 5) 2.0–2.5

Проведено зонирование территории влияния горнопромышленного предприятия по КИЗА, который служит интегральной характеристикой степени загрязнения атмосферы и позволяет определить степень экологической опасности (табл. 2) исследуемого предприятия как источника загрязнения приземного слоя атмосферы.

ТАБЛИЦА 2. Критерии оценки состояния загрязнения атмосферы по комплексному индексу (КИЗА)

Показатель КИЗА	Экологическое состояние атмосферы	Характеристика химического загрязнения	Зона
0–1	Н (норма)	Относительно слабая опасность	1, 2
1–4	СО (средняя опасность)	Средняя опасность	3–5
4–8	ВО (высокая опасность)	Высокая опасность	—
8–15	К (кризис)	Очень высокая опасность	—
Больше 15	Б (бедствие)	Чрезвычайно высокая опасность	—

Первая и вторая зоны (КИЗА < 1.0) относятся к категории зон с относительно слабой опасностью химического загрязнения (Н), которая характеризуется достаточно высокой скоростью самоочищения атмосферы. Третья, четвертая и пятая зоны — к категориям зон со средней опасностью химического загрязнения, которая характеризуется пониженной скоростью самоочищения атмосферы и накоплением токсикантов (СО).

Для уточнения полученной информации по динамике природных и техногенных потоков загрязняющих веществ в исследуемом районе использованы дистанционные методы зондирования в сочетании с объемным представлением рельефа. Территория Многовершинного ГОКа изучалась в Google Earth в обзорном и максимально крупном масштабах. Из Интернета загружалась матрица высот рельефа SRTM-3, имеющая шаг квантования 3", что соответствует примерно 90 м на местности. На основе этой матрицы строились цифровые модели рельефа (ЦМР),

которые визуализировались в виде оттененных карт рельефа и объемных (3D) изображений в косоугольной проекции. Последние совмещались с растровой цифровой картой района (рис. 3) и пространственной картой-схемой распространения загрязнителей в атмосфере (рис. 4), что позволяет проследить основные пути миграции токсичных веществ. В англоязычных источниках это совмещение нередко называется “драпировка модели растровым изображением” [13].

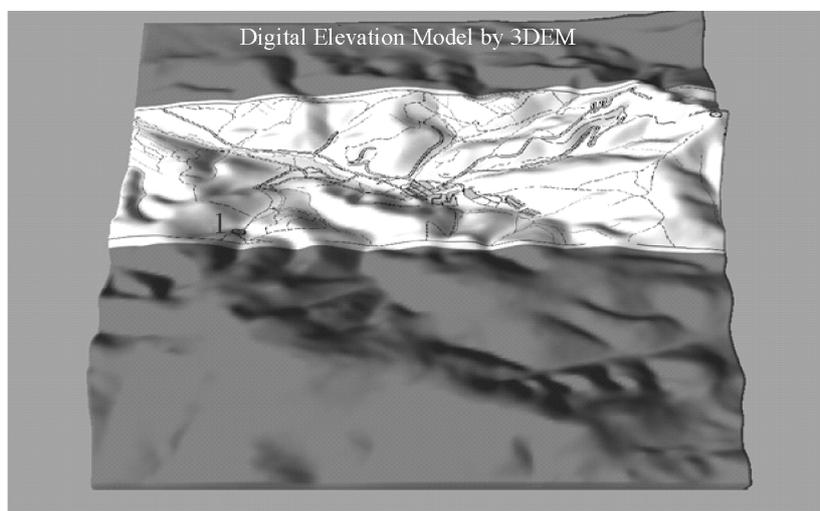


Рис. 3. Исследования в зоне влияния Многовершинного ГОКа; основа — оттененная карта рельефа, сгенерированная приложением 3Dem

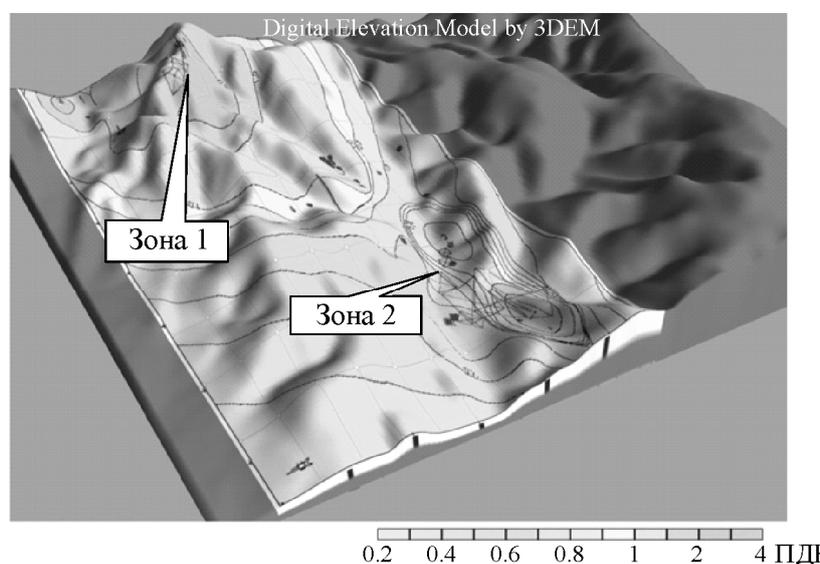


Рис. 4. Изолинии суммарного распределения загрязняющих веществ из 39 компонентов в зоне влияния Многовершинного ГОКа; основа — оттененная карта рельефа, сгенерированная приложением 3Dem

Обработка ЦМР и визуализация в виде оттененных карт как “драпированных”, так и “недрапированных” растром выполнялась ГИС-приложением Microdem, поскольку оно предоставляет в распоряжение пользователя значительное количество средств обработки и анализа геопространственных данных. Представление 3D-моделей в косоугольной проекции удобнее выполнять в программе 3Dem, так как оно дает возможность более гибко варьировать ракурсом.

Визуальный анализ и сопоставление растровых моделей 3D модели рельефа позволяет выявить основной ареал загрязнения (зона 1), находящийся на склоне горы, что дополнительно усиливает воздействие на поселок, расположенный в долине. Ареал загрязнения (зона 2), обусловленный влиянием хвостохранилища, частично находится в низине, что усугубляет ситуацию, так как между поселком и хвостохранилищем нет природных препятствий. Последнее свидетельствует о нерациональном размещении звеньев технологической цепи и селитебной зоны в условиях горно-долинного рельефа.

Техногенное воздействие горного производства на исследуемой территории испытывает почвенный покров. Он является одним из наиболее чувствительных индикаторов состояния экосистем и глубины трансформации. Почвы являются депонирующей средой, в которых загрязняющие вещества накапливаются и преобразуются. Анализ проб почвогрунтов, отобранных в 2008–2010 гг., проводился с использованием стандартных методик, элементарный состав твердых проб определялся рентгенофлуоресцентным методом.

**Интерпретация результатов** проводилась путем сравнения полученных данных анализов с фоновыми концентрациями тех же элементов в аналогичных почвах и почвогрунтах ландшафтов-аналогов, расположенных вне зон техногенного воздействия. При этом определялись суммарные показатели концентраций тяжелых металлов  $Z_c$  [14]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n Kc_i - (n - 1),$$

где  $Kc_i$  — коэффициент концентрации химических элементов;  $n$  — число учитываемых элементов.

$$Kc_i = \frac{C_i}{C_{\text{фон}}},$$

где  $C_i$  — концентрация  $i$ -элемента, г/т;  $C_{\text{фон}}$  — фоновая концентрация  $i$ -элемента, г/т.

Суммарный показатель загрязнения  $Z_c$  относится к числу важнейших и наиболее информативных параметров экологической обстановки. Оценочная шкала значений  $Z_c$  (табл. 3) позволяет выявлять зоны чрезвычайных экологических ситуаций.

ТАБЛИЦА 3. Оценочная шкала опасности загрязнения почв

Категория загрязнения почв	Значение $Z_c$	Изменение показателя здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	Менее 16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16 – 32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32 – 128	Увеличение общей заболеваемости, числа болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушение функционального состояния сердечно-сосудистой системы
Чрезвычайно опасная	Более 128	Увеличение заболеваемости детей, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных)

Градации значений  $Z_c$  на карте приняты в соответствии с данной шкалой; для более детального картографирования приведена дополнительная градация (8-16, 32-64, 64-128) и отображена на картографической основе (рис. 5).

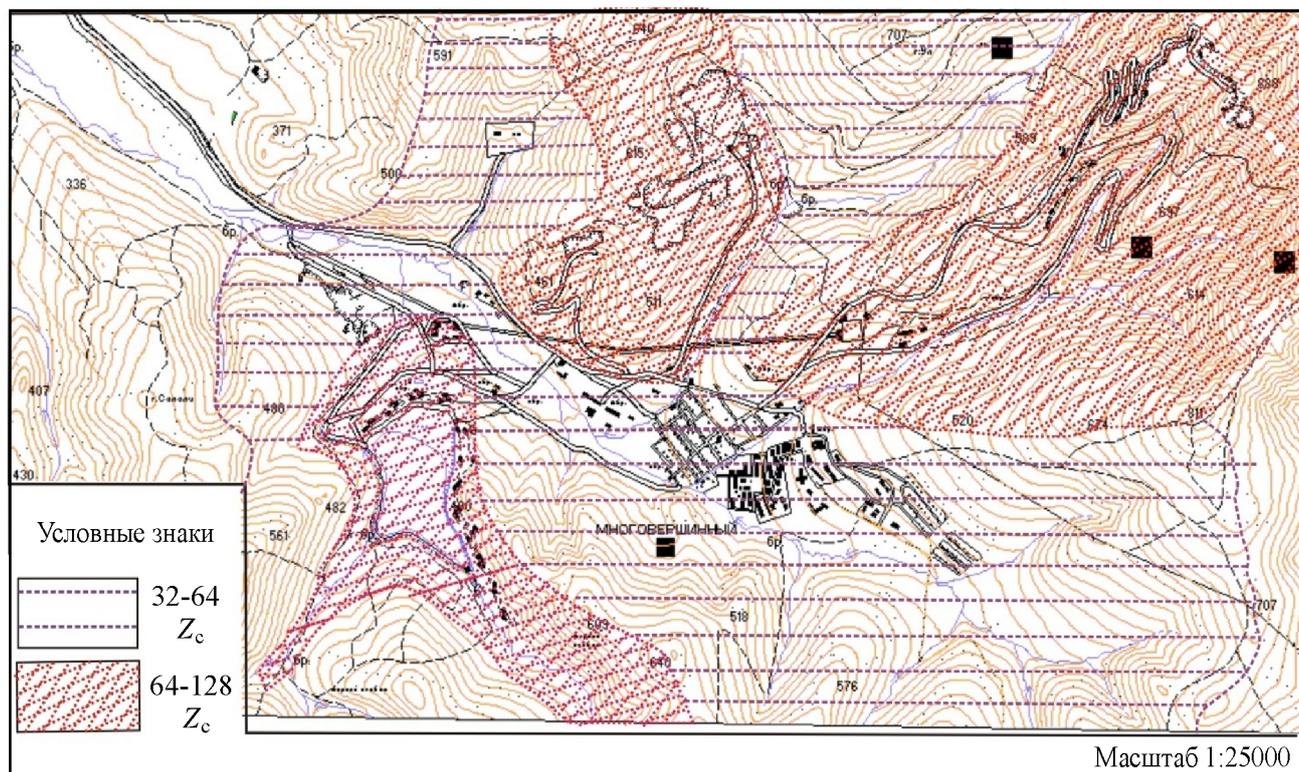


Рис. 5. Распределение суммарной концентрации тяжелых металлов в почвах на территории горнопромышленного освоения Многовершинного ГОКа

Наибольшая суммарная концентрация тяжелых металлов отмечена в районе карьера, ЗИФ и хвостохранилища. В целом вокруг горноперерабатывающего предприятия формируются почвенно-геохимические аномалии с избыточным содержанием тяжелых металлов. Установлено, что максимальное загрязнение характерно для почвогрунтов тех участков, которые находятся вблизи горного объекта, где оно превосходит фон на 2–3 порядка.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная геоэкологическая оценка техногенного воздействия на атмосферный воздух в зоне влияния горноперерабатывающего предприятия юга Дальнего Востока с использованием ГИС-технологий позволила установить: пространственные ареалы токсичных элементов в приземном слое атмосферы; зависимости для прогнозирования пространственного распространения неорганической пыли по господствующим направлениям ветра. Зонирование территории влияния горнопромышленного предприятия по показателям комплексного индекса загрязнения атмосферы дало возможность определить степень экологической опасности исследуемого предприятия как источника загрязнения приземного слоя атмосферы. Анализ и сопоставление растровых моделей 3D-модели рельефа выявил основной ареал загрязнения, находящийся на склоне горы, что дополнительно усиливает воздействие на поселок, расположенный в долине. Ареал загрязнения, обусловленный влиянием хвостохранилища, частично находится в низине, что усугубляет ситуацию, так как между поселком и хвостохранилищем нет природных препятствий. Последнее свидетельствует о нерациональном размещении звеньев технологической цепи и селетевой зоны в условиях горно-долинного рельефа.

Разработанный алгоритм и программное обеспечение расчетного мониторинга, реализованные на примере одного из горноперерабатывающих предприятий юга Дальнего Востока, применимы для обоснования: сети опробования атмосферного воздуха; методов проведения мероприятий по пылеподавлению для обеспечения экологической безопасности в районах размещения хвостохранилищ и других площадных источников; долговременном и оперативном прогнозировании пространственных масштабов распространения и интенсивности химического загрязнения в зоне действия горноперерабатывающего предприятия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Зверева (Постникова) В. П.** Экологические последствия техногенеза на оловорудных месторождениях Дальнего Востока // Рудные месторождения континентальных окраин. — Владивосток: Дальнаука, 2000.
2. **Мамаев Ю. А., Крупская Л. Т., Саксин Б. Г.** Регулирующее воздействие биоты на окружающую природную среду и проблема организации биологических исследований в пределах природно-горнотехнических систем // ГИАБ. — 2005. — № 3.
3. **Александрова Т. Н., Липина Л. Н., Крупская Л. Т.** Оценка влияния природно-горнотехнических систем при рудной золотодобыче на окружающую среду // ГИАБ. — 2010. — № 6.
4. **Трубецкой К. Н., Галченко Ю. П., Грехнев Н. И. и др.** Основные направления решения экологических проблем минерально-сырьевого комплекса в Дальневосточном регионе // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2009. — № 6.
5. **Елпатьевская В. П.** Почвообразование на отвалах сульфидных месторождений (юг Дальнего Востока) // Почвоведение. — 1995. — № 2.
6. **Саксин Б. Г., Крупская Л. Т., Ивлев А. М.** Региональная экология горного производства. — Хабаровск: ИГД ДВО РАН, Приамурское геогр. об-во, 2001.
7. **Безуглая Э. Ю.** Качество воздуха в крупнейших городах России за 10 лет (1998 – 2007 гг.): аналитический обзор. — СПб.: ГУ “ТГО”, Росгидромет, 2009.
8. **ГОСТ РФ № 52438-2005.** Географические информационные системы.
9. **Мирзеханова З. Г.** Эколого-географическая экспертиза территории (взгляд с позиции устойчивого развития). — Хабаровск: Дальнаука, 2000.
10. **Липина Л. Н., Александрова Т. Н.** Геоэкологическая оценка состояния территорий методом интерпретации картографических данных на примере Николаевского района Хабаровского края // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов: сб. тр. II Междунар. экол. конгр. ELPIT 2009, Т. 3. — Тольяти: ТГУ, 2009.
11. **Александрова Т. Н., Галченко Ю. П., Липина Л. Н.** К вопросу об охране природных экосистем при освоении золоторудных месторождений Дальнего Востока // Экол. системы и приборы — 2011. — № 1.
12. **Александрова Т. Н., Липина Л. Н.** Геоэкологические и технологические аспекты влияния отходов рудной золотодобычи на окружающую среду при освоении недр // Экол. системы и приборы. — 2011. — № 10.
13. **Operating Instructions 3DEM Software for Terrain Visualization and Flyby Animation Version 20,** Intrnet-resource: <http://www.visualizationsoftware.com/3dem.html>.
14. **Сагет Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. и др.** Геохимия окружающей среды. — М.: Мысль, 1990.

Поступила в редакцию 21/V 2012