

На правах рукописи

АЛЕКСЕЕНКО Алексей Владимирович



**ОЦЕНКА И СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ
ОПАСНОСТИ ОТВАЛОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В
НОВОРОССИЙСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

*Специальность 25.00.36 – Геоэкология
(в горно-перерабатывающей промышленности)*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет».

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор

Пашкевич Мария Анатольевна

Официальные оппоненты:

Орехова Наталья Николаевна

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра геологии, маркшейдерского дела и обогащения полезных ископаемых, профессор

Юсупов Дмитрий Валерьевич

кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отделение геологии Инженерной школы природных ресурсов, доцент

Ведущая организация – НПК «Механобр-техника» (АО)

Защита состоится 26 сентября 2018 г. в 13 ч. на заседании диссертационного совета Д 212.224.06 при Санкт-Петербургском горном университете по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. № 1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 26 июля 2018 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



СИДОРОВ
Дмитрий Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Деятельность предприятий горно-перерабатывающей промышленности России приводит к ежегодному образованию более 2 млрд. т твердых промышленных отходов, среди которых одними из наиболее миграционно-способных являются отходы добычи и переработки цементного сырья, что обуславливается значительной долей в них пылевидных фракций и недостаточностью мероприятий по рекультивации территорий их складирования. По разным оценкам, объем образования отходов цементных предприятий составляет от 50 до 100 тыс. т в год. Согласно материалам Госдоклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году», в ряде городов цементное производство является основным источником загрязнения атмосферного воздуха.

Сдуваемая с отвалов пыль представляет угрозу при попадании в дыхательные пути, сорбирует содержащиеся в атмосферном воздухе поллютанты и осаждается на поверхности почвы, усиливая загрязнение селитебных ландшафтов; также пылевая нагрузка сказывается на поверхностных водах при смыве загрязненного почвенного покрова.

Особую опасность для окружающей среды представляют нерекультивированные территории складирования отходов добычи цементного сырья в Новороссийской промышленной агломерации вследствие пыления и эрозии с возможным образованием селевых потоков. В связи с этим, выполнение эколого-геохимического исследования Новороссийской промагломерации с выделением неблагоприятных зон и селеопасных ландшафтов требуется для обоснования необходимости проведения рекультивации для снижения техногенной нагрузки отвалов горного производства на природную среду.

Вопросам ландшафтно-геохимического мониторинга, позволяющего количественно оценить происходящие изменения в ландшафтах и вынести практические рекомендации по улучшению экологической обстановки, посвящены работы многих ученых, таких как И.А. Авессаломова, В.А. Алексеенко, В.А. Андроханов, М.А. Глазовская, В.В. Добровольский, В.Б. Ильин, Н.С. Касимов, Н.Е. Кошелева, Г.В. Мотузова, М.С. Панин, М.А. Пашкевич, А.И. Перельман, Л.П. Рихванов, А.И. Сысо, J. Bech, M. Birke, A. Kabata-Pendias, H. Meuser и др. К настоящему времени накоплен значительный объем материалов, посвященных экологическим последствиям добычи и переработки полезных ископаемых, а также возможным путям решения задач по восстановлению техногенно нарушенных ландшафтов, в том числе при производстве строительных материалов. Проведенные оценки текущего состояния территорий под влиянием добычи и переработки цементного сырья рассматривают только конкретные случаи, не давая применимых в иных условиях предложений по уменьшению экологического ущерба. Таким образом, на сегодняшний день не разработаны комплексные системы, позволяющие на основании ландшафтно-геохимического мониторинга эффективно оценивать антропогенную нагрузку на селитебные зоны и контролировать потенциально селеопасные участки отвалов, осуществляя слежение за состоянием окружающей среды на основе ранжирования техногенных территорий.

Цель работы: снижение эколого-геохимической и селевой опасности отвалов добычи цементного сырья.

Идея работы: оценка и снижение экологической опасности отвалов горного производства должны базироваться на результатах комплексного мониторинга окружающей их среды и цифровом картографировании для выявления эрозионно-опасных зон отвалов с последующим планированием экологически эффективных и экономически обоснованных средозащитных мероприятий.

Задачи исследования

1. Моделирование процессов миграции и аккумуляции загрязняющих химических элементов в почвенно-растительном покрове и акватории города.

2. Мониторинг природной среды промагломерации на основе данных биогеохимического опробования и картографических материалов.

3. Анализ и оценка опасности эрозионных процессов и формирования селевых потоков на территории отвалов.

4. Разработка системы средозащитных мероприятий по рекультивации отвалов, включающих комплекс противоселевых и противоэрозионных мер.

Научная новизна:

– установлены закономерности миграции загрязняющих веществ с территории отвалов и формирования техногенных геохимических аномалий в почвенно-растительном покрове в условиях пыления отвалов вскрышных карбонатных пород, сорбции и осаждения содержащихся в воздухе поллютантов;

– теоретически обоснованы пути снижения экологической опасности насыпных массивов предприятий цементного производства, на основе разработанной системы мониторинга и ранжирования техногенных ландшафтов, позволяющей выделять территории повышенного экологического риска для первоочередного внедрения средозащитных мероприятий.

Защищаемые положения

1. Пыление нерекультивированных отвалов цементного производства в условиях сухого субтропического климата и высоких значений pH почв приводит к формированию полиэлементных техногенных геохимических аномалий Pb, Zn, Cu, Ba и Sr площадями до 5 км² в наземных и аквальных ландшафтах с суммарным загрязнением почвенного покрова, достигающим высокого уровня экологической опасности.

2. Повышение достоверности оценки экологической опасности насыпных массивов для окружающей среды должно производиться на базе данных цифрового картографирования путем ранжирования зон техногенного

воздействия по значениям накопленного экологического ущерба и технического риска селеобразования.

3. Снижение техногенного воздействия отвалов добычи цементного сырья на природную среду в Новороссийской промышленной агломерации должно осуществляться путем их рекультивации с закреплением почв на участках сноса материала за счет нанесения геомата, гидропосева смеси мелиорантов и семян травянистых растений и производства противоэрозионных лесонасаждений можжевельника *Juniperus oxycedrus* и скумпии *Cotinus coggygia*.

Методы исследования. Обзор и анализ процессов загрязнения ландшафтов промышленных агломераций и существующих способов снижения техногенного воздействия на окружающую среду. Проведение полевых работ с отбором проб почв и растительности, аналитическое определение в них валовых концентраций химических элементов методами спектрально-эмиссионного анализа и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой; анализ вытяжек подвижных форм металлов; полевые замеры концентраций пыли в воздухе (фракции 1–10 мкм) в троекратной повторности. Выделение геохимических ассоциаций основных загрязняющих элементов в почвенном и растительном покровах, оценка экологической опасности загрязнения. Расчет накопленного экологического ущерба и технического риска селеобразования. Подбор наиболее эффективного способа рекультивации сформированных при добыче цементного сырья отвалов. Посадка закрепляющих почву кустарниковых и древесных растений на пробной площадке. *Исследования проведены с использованием оборудования Центра коллективного пользования Горного университета.*

Практическая значимость работы:

- разработана методика проведения биогеохимического мониторинга загрязнения наземных и водных ландшафтов;
- выполнена оценка накопленного экологического ущерба селитебным ландшафтам, рассчитан технический риск

схода селя с отвалов, проведено зонирование территории по степени экологической опасности;

– предложено технологическое решение по проведению инженерных мероприятий по сдерживанию селеопасных участков и их рекультивации в очагах эрозионного сноса материала на отвалах.

Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций обеспечены проведением значительного объема полевых и лабораторных исследований (свыше 6000 химико-аналитических определений в 238 образцах почв, водной растительности, пылевых выбросов и техногенных отложений) с применением высокотехнологичного оборудования, современных математических методов и компьютерных технологий обработки информации; подтверждаются сходимостью выявленных закономерностей процессов загрязнения окружающей среды с теоретическими данными и исследованиями.

Апробация работы. Результаты исследований и основные положения работы докладывались и обсуждались на международных и всероссийских научных конференциях, симпозиумах и конкурсах, в том числе: *«Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии»* (Международная биогеохимическая школа, Барнаул, 2015); *«Экобалтика»* (Международный молодежный экологический форум, Санкт-Петербург, 2015); *«Проблемы геологии и освоения недр»* (Международный симпозиум им. акад. М.А. Усова, Томск, 2016); *«Seminar of Fellows in the DAAD Mikhail Lomonosov Programme»* («Семинар стипендиатов программы “Михаил Ломоносов” DAAD», Бонн, Германия, 2016); *«Проблемы недропользования»* (Международный форум-конкурс молодых ученых, Санкт-Петербург, 2017); *«Young Persons' Lecture Competition by the Institute of Materials, Minerals and Mining»* («Международный конкурс докладов молодых ученых Института материалов, минералов и горного дела ИОМЗ», Санкт-Петербург, 2017);

«Дальние горизонты науки» (Конкурс идей научно-исследовательских работ молодых ученых, Санкт-Петербург, 2017).

Личный вклад автора:

- постановка цели и задач, разработка методики исследований;
- сбор и подготовка проб для проведения лабораторных анализов;
- установление геоэкологических закономерностей по полученным аналитическим данным;
- оценка существующих угроз окружающей среде по результатам зонирования и ранжирования техногенных ландшафтов;
- разработка способа снижения экологической опасности отвалов и обоснование экономической эффективности предлагаемого природоохранного мероприятия.

Реализация работы. Разработанные технические предложения по снижению техногенной нагрузки на компоненты окружающей среды подготовлены для использования при принятии мер по улучшению экологической обстановки в селитебных ландшафтах г. Новороссийска. Результаты работы могут использоваться в учебном процессе Санкт-Петербургского горного университета при проведении лабораторных занятий по дисциплинам «Геохимия окружающей среды и ландшафтоведение» и «Экология».

Публикации. По теме работы опубликованы 23 печатных труда, в том числе 6 статей в журналах, входящих в перечень ВАК Министерства образования и науки России (в т.ч. 4 в журналах, индексируемых Web of Science и/или Scopus). Полные тексты опубликованных статей представлены в базах данных научной информации www.istina.msu.ru и www.researchgate.net.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, заключения и 7 приложений. Работа

изложена на 178 страницах текста, сопровождается 47 иллюстрациями, 34 таблицами. Список цитируемой литературы включает 330 источников.

Благодарности. Автор выражает благодарность за научное руководство, советы и помощь в работе профессору, д.т.н. М.А. Пашкевич и профессору, доктору К. Дребенштедту, руководившему исследовательской работой в период стажировки во Фрайбергской горной академии. Коллектив кафедры геоэкологии Горного университета неоднократно обсуждал ведущуюся работу и давал критические замечания, помогая улучшить ее, за что автор признателен своим коллегам.

Внедрение. Полученные результаты применяются в работе научно-производственных и надзорных организаций г. Новороссийска, что подтверждено 3 актами внедрения. Предлагаемые природоохранные решения также могут быть использованы предприятиями горно-перерабатывающей промышленности, деятельность которых приводит к образованию отвалов, требующих проведения оценки экологической опасности и осуществления противоселевых, противоэрозионных и рекультивационных мероприятий.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цель, идея, задачи, научная новизна, защищаемые положения, практическая значимость проводимого исследования и личный вклад автора.

В **первой главе** дана физико-географическая характеристика Новороссийской промышленной агломерации, рассмотрены ландшафтные факторы, влияющие на процессы миграции и аккумуляции загрязняющих элементов.

Во **второй главе** описана методика эколого-геохимической оценки состояния территории и акватории города, включающая полевые работы, лабораторные анализы, статистическую обработку данных.

В третьей главе рассматриваются ключевые процессы загрязнения ландшафтов промышленных агломераций, описывается разработанный метод повышения достоверности оценки экологической опасности насыпных массивов с выделением полиэлементных геохимических аномалий, определением интегральных показателей загрязнения почв и накопленного ущерба землям города, а также расчетом технического риска урона окружающей среде с учетом вероятности селеобразования на отвалах.

В четвертой главе изложен предлагаемый способ снижения экологической опасности отвалов в Новороссийской промышленной агломерации на основе анализа современных подходов к восстановлению ландшафтов, сопоставляются возможные пути закрепления почв исследованных насыпных массивов, описываются предлагаемые технический этап рекультивации с применением геомата и биологический с гидропосевом смеси мелиорантов и семян трав и производством противоэрозионных лесонасаждений подобранных видов древесных растений.

В заключении сформулированы ключевые научные и практические выводы работы.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях.

1. Пыление нерекультурированных отвалов цементного производства в условиях сухого субтропического климата и высоких значений рН почв приводит к формированию полиэлементных техногенных геохимических аномалий Pb, Zn, Cu, Ba и Sr площадями до 5 км² в наземных и аквальных ландшафтах с суммарным загрязнением почвенного покрова, достигающим высокого уровня экологической опасности.

В условиях засушливого климата черноморского побережья Кавказа, в Новороссийской промышленной агломерации важными источниками загрязнения

ландшафтов на протяжении более чем ста лет являлись выбросы цементного завода и ветровая эрозия породных отвалов, сформированных при карьерной разработке месторождения мергеля. К настоящему времени объемы выбросов предприятия ОАО «Новоросцемент» значительно снизились благодаря оснащению производственных мощностей новыми фильтрационными системами. При этом дефляция поверхностного горизонта отвалов не прекращается в условиях отсутствия рекультивационных работ. Необходимость оценки экологического состояния ландшафтов г. Новороссийска обуславливалась рекреационно-туристической ролью города, а также постоянно возрастающим числом жителей, превышающим 300 тыс. чел.

Ландшафтно-геохимические исследования включали: составление 174 полевых описаний пикетов на территории Новороссийской промышленной агломерации; отбор и химический анализ 82 проб почв и отвалов (рисунок 1), 156 образцов водорослей в городской акватории (рисунок 2), 9 образцов цементного сырья и пылевых выбросов завода; трехкратные параллельные замеры концентрации пыли (фракции 1–10 мкм) в атмосферном воздухе на высоте 1,5 м на 46 ключевых участках. Полученные данные легли в основу всесторонней характеристики экологического состояния ландшафтов (рисунок 3), включающей оценку загрязнения воздуха, почвенного покрова и аквальных ландшафтов.

Для разделения техногенного загрязнения и обусловленных природным фоном высоких содержаний, рассчитывались коэффициенты концентрации (K_c), отражающие превышение содержаний элементов в почвах промышленной агломерации над средним уровнем, характерным для лесных почв Северо-Западного Кавказа. Средние превышения содержаний металлов в почвах промышленной агломерации относительно фона составляют: $Sr_{2,5}Pb_{1,7}Zn_{1,7}Cu_{1,3}Ba_{1,2}$. При этом максимальные величины K_c доходят до значений $Zn_{16}Pb_{14}Cu_5Sr_5Ba_4$. Доля точек с

превышением фоновых содержаний при этом составляет от 51 до 70 % для Zn, Pb, Cu и Ba, доходя до 100 % в случае Sr.

Установленная геохимическая ассоциация основных загрязняющих элементов Sr-Pb-Zn-Cu-Ba характеризуется схожими миграционными свойствами. Величина потенциала Картледжа данных металлов составляет меньше 3, что свидетельствует об их слабой способности к образованию комплексных ионов и активном переходе катионов в водные растворы, и доступности для организмов. Схожие величины валентностей преобладающих ионов данных металлов и их радиусов указывают на возможность их совместной миграции в условиях гипергенеза, что подтверждается высокой долей подвижных форм металлов, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером.

Главным источником Sr в ландшафтах являются карбонатные почвообразующие породы, представленные на изучаемой территории мергелями. В природных условиях, Sr вымывается из поверхностных горизонтов почв, сохраняя высокие концентрации в нижележащих. Однако при пылении отвалов в Новороссийской промагломерации в атмосферу попадает элювий вскрышных пород и некондиционного мергеля, в составе которого повышены содержания Sr. При оседании взвешенных частиц происходит относительное обогащение поверхностных горизонтов городских почв данным элементом по сравнению с почвами лесных ландшафтов. Одним из основных источников Pb является эмиссия пыли на цементном заводе: среднее содержание в отобранных из дымовой трубы образцах пыли составляет 2000 мг/кг. В настоящее время, пылевая нагрузка данного производства значительно снижена благодаря внедрению современных фильтрационных систем, однако загрязнение почв отражает накопленный ущерб. Такие металлы как Ba, Cu и Zn могут выделяться преимущественно при истирании шин, поскольку вблизи улиц с интенсивным автомобильным движением обнаружены в концентрациях на порядки выше, чем на удалении от магистралей.

Накопление ассоциации Sr-Pb-Zn-Cu-Ba связано с пылением отвалов, расположенных на склоне окаймляющего город с северо-востока Маркотхского хребта (рисунок 4). Проведенные замеры содержания пыли на высоте 1,5 м показали, что в условиях резкого преобладания дующего со стороны отвалов ветра (в т.ч. новороссийской боры), механически сдуваемая с незадернованной поверхности пыль размером менее 10 мкм переносится в направлении центра и жилых районов агломерации. Обладая высокой сорбционной способностью, пыль поглощает содержащиеся в атмосферном воздухе примеси, осаждая их на почвенный покров и формируя в поверхностном горизонте геохимические аномалии площадями до 5 км².

В почвенном разрезе, заложенном на трансаккумулятивной позиции (рисунок 5), содержания Pb, Cu и Zn в поверхностном гумусовом горизонте A1_{Ca} мощностью 20 см превышают содержания в горизонте C_{Ca} (опробованном на глубинах 34-60 см) в 3,7 раза, 3,1 раза, и 1,9 раза, соответственно. Аналогичное распределение отмечено для Ba. Накопление металлов на таких глубинах связано, во-первых, с осаждением пыли из атмосферного воздуха. Составляющие аномалию металлы являются подвижными при доступном кислороде водными мигрантами, переносящимися вниз по почвенному профилю, преимущественно при выпадении осадков. Второй причиной аккумуляции металлов в поверхностном горизонте является присутствие сорбционного и биогеохимического барьеров, связанных с большим содержанием тонкой фракции и гумуса.

Миграция металлов, происходящая в виде слабощелочного ионного раствора, приводит к переносу накопленных в почве загрязняющих компонентов в акваторию Цемесской бухты, где они аккумулируются донными отложениями и многолетними макрофитами. В условиях проведения дноуглубительных работ, загрязнение выявляется наиболее надежно не по донным осадкам, а по биологическим образцам. Установлено, что биогенное накопление,

свойственное всей ассоциации загрязняющих элементов, проявилось в аккумуляции Zn, Pb и Cu водорослями вида цистозира (*Cystoseira barbata*), служащими наиболее достоверными биогеохимическими индикаторами экологического состояния аквальных ландшафтов (таблица 1).

Таким образом, выявленные техногенные геохимические аномалии характеризуют значительные различия между условиями окружающей среды в промышленной агломерации и ненарушенных ландшафтах Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа. Полученные сведения необходимы для разработки подхода к комплексной оценке экологической обстановки и выделению зон наибольших техногенных угроз окружающей среде в промышленной агломерации.

2. Повышение достоверности оценки экологической опасности насыпных массивов для окружающей среды должно производиться на базе данных цифрового картографирования путем ранжирования зон техногенного воздействия по значениям накопленного экологического ущерба и технического риска селеобразования.

На основе результатов химико-аналитических работ и с использованием полевых описаний ключевых участков и точек опробования, геологической карты, цифровой модели рельефа по данным ДЗЗ «Global Mapper», космических снимков системы Birds Eye из базы данных Sas Planet, а также литературных материалов оценено состояние окружающей среды промышленной агломерации. Ранжирование нарушенных земель по степени экологической опасности выполнялось путем расчета доли территории с превышением ПДК/ОДК химических элементов в почвах (рисунок 6), составляющей от менее чем 30 % (Cu, Zn) до 62 % (Pb) и 100 % (Sr). Максимальные превышения ПДК/ОДК в отдельных точках доходят до значений $As_{50}Pb_{19}Zn_9Cu_2$.

Расчет интегрального показателя загрязнения (ИПЗ) показал, что более 50 % всей исследуемой территории (около

30 км²) характеризуются умеренно-опасным и опасным уровнями загрязнения почв (рисунок 7). Рассчитанный экологический ущерб, нанесенный почвенному покрову при загрязнении и перекрытии отходами горного производства, составляет 176,8 млн. Р.

Отвалы представляют угрозу для окружающей среды и как источник пыления, и как неустойчивый насыпной массив, подверженный угрозе селеобразования. Ключевым фактором риска является незакрепленное состояние откосов насыпей и невозможность самовосстановления растительного покрова без дополнительных мелиоративных мероприятий, приводящие к дождевой и ветровой эрозии. В Новороссийском районе грязевая составляющая потенциального селевого потока может формироваться в основном за счет почв и рыхлых образований, расположенных на коренных горных породах. Складированные в отвалах обломки мергеля со средним размером от 1 до 10 см могут составить до 65 % объема рыхлых образований в селе. Причинами возможного селя на Черноморском побережье Кавказа, где по статистике только в течение летнего периода образуется порядка $n \times 10$ смерчей, могут быть не только сбросы воды смерчем (как при катастрофическом наводнении 2002 г.), но и ежегодно происходящее выпадение ливневых атмосферных осадков. Селевые потоки сходят на этой же территории в среднем 15 раз в течение одного года.

Для зонирования территории по опасности чрезвычайной ситуации (ЧС) следует рассчитывать технический риск схода селевого потока: $R_t = \sum \sum \lambda_i \times P_{ij} \times Y_{ij}$ (Р/год), где i – число расчетных сценариев развития ЧС; j – число видов воздействия поражающих факторов при реализации i -го сценария ЧС; λ_i – частота реализации i -го сценария возникновения и развития ЧС, 1/год; P_{ij} – вероятность реализации j -го вида воздействия для i -го сценария; Y_{ij} – размер ущерба, обусловленного реализацией j -го вида воздействия, Р.

Выполненные расчеты для сценариев схода селя в ключевых возможных зонах поражения позволили оценить наносимый ущерб при отчуждении земель, разрушении частных домов и подсобных хозяйств, уничтожении городской дорожной сети, нарушении целостности федеральной трассы и железной дороги, повреждении или сносе портовых сооружений.

При первом рассмотренном варианте ЧС, сброс морской воды смерчем происходит в балке **A1** (рисунок 8). В этой ситуации площадь отчуждаемых земель в зоне поражения **A2** составит до 200 тыс. м², будет уничтожено до 200 малоэтажных жилых домов с прилегающими хозяйственными постройками и садово-огородными участками. Общая протяженность уничтожаемой густой дорожной сети в зоне частных домовладений может достичь 10 км. Разрушение нижерасположенных федеральной трассы М4-Дон и железнодорожного полотна (зона **A3**) приведет к полной блокировке наземных транспортных путей, ведущих в Новороссийский морской торговый порт. Технические портовые сооружения, перегрузочные площадки и склады (**A3**) также испытывают угрозу частичного или полного сноса при сходе возможного селевого потока.

Сход селя с водосборной поверхности **B1** приведет к нарушению земель площадью до 300 тыс. м², уничтожению до 300 подворий и до 15 км автомобильных дорог, расположенных на участке **B2**. Площадь поражения зоны **B3**, находящейся гипсометрически ниже и включающей трассу, железную дорогу и порт, превзойдет нарушаемую при первом сценарии территорию **A3** в 1,5 раза.

Рассчитанная на основании прогнозных данных о наносимом уроне и вероятности ЧС величина технического риска схода селевого потока в единицах среднегодового ущерба в Новороссийской промышленной агломерации может доходить до 17,85 млн. Р.

Предлагаемые подходы к ранжированию техногенно нарушенных территорий и оценке риска ущерба окружающей

среде являются основой для разработки мер по снижению экологической опасности насыпных массивов.

3. Снижение техногенного воздействия отвалов добычи цементного сырья на природную среду в Новороссийской промышленной агломерации должно осуществляться путем их рекультивации с закреплением почв на участках сноса материала за счет нанесения геомата, гидропосева смеси мелиорантов и семян травянистых растений и производства противоэрозионных лесонасаждений можжевельника *Juniperus oxycedrus* и скуппии *Cotinus coggygia*.

Пыление и опасность схода селевого потока могут быть снижены с помощью рекультивации, обеспечивающей устойчивость насыпных массивов. На территории отвалов были выделены два типа участков: (1) субгоризонтальные выположенные площадки с уклоном не более 15°, занимающие 45 000 м² и (2) склоны крутизной от 15 до 45° с общей площадью 105 000 м². Участки первого типа не требуют проведения специальной технической подготовки поверхности перед посадкой почвозакрепляющих растений. Напротив, проведение биологического этапа рекультивации в зоне откосов возможно только после их стабилизации.

Выполненный анализ возможных технологий закрепления поверхности показал, что оптимальный результат в условиях Новороссийской промышленной агломерации достигается покрытием откосов противоэрозионным геоматом – рулонным материалом с волоконной структурой, состоящей из нескольких слоев полипропиленовых экструдированных решеток, наложенных друг на друга и связанных с помощью полипропиленовой нити механическим или термическим способом. Большое количество пустот позволит создать оптимальные условия укоренения растений после гидропосева смеси мелиорантов и семян травянистых растений, защищая от эрозии и выполняя функции фильтра, предотвращающего вынос тонких почвенных фракций (рисунок 9).

Культивация на пологой территории можжевельно-скупипиевого биоценоза (рисунок 10) была проведена на опытной площадке и показала эффективность посадки данных древесных и кустарниковых растений, адаптированных к засушливым климатическим условиям Северо-Западного Кавказа (рисунок 11). При условии высадки в конце летнего сезона, перед началом осеннего-зимнего периода повышенного выпадения атмосферных осадков, обеспечивающего необходимое увлажнение почвенного покрова, на второй год начнется формирование устойчивого фитоценоза с подлеском из бобовых и злаковых травянистых растений, создающих необходимые условия для поддержания геохимических циклов элементов питания растений в ландшафте (рисунок 12).

Суммарная стоимость рекультивационных работ, составляющая 16,06 млн. Р, является экономически целесообразной, поскольку позволяет предотвратить экологический ущерб и разрушения при наименее благоприятном сценарии развития чрезвычайной ситуации. При условии выполнения всех рекомендованных рекультивационных работ, сформированный растительный покров будет поддерживать естественные процессы почвообразования на породных отвалах. Конечным результатом закрепления откосов и производства лесонасаждений на субгоризонтальных площадках должен быть переход территории техногенных отвалов в биокосную систему, характеризующуюся высокой устойчивостью к эрозионным и селевым процессам и возможностью функционирования без дополнительного вмешательства человека.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. На основании комплекса полевых и лабораторных изысканий установлены закономерности миграции и

аккумуляции загрязняющих химических элементов в наземных и аквальных ландшафтах города, описаны пути переноса сдуваемых с поверхности отвалов твердых взвешенных частиц в направлении центра и жилых районов города и накопления ассоциации Pb, Zn, Cu, Ba и Sr в городской среде.

2. Осуществлен ландшафтно-геохимический мониторинг состояния окружающей среды промагломерации, определена площадь территории с высокой экологической опасностью загрязнения, рассчитаны интегральные показатели накопления загрязняющих веществ и накопленный экологический ущерб.

3. Проанализирована и оценена опасность эрозионных процессов и формирования селевых потоков на территории отвалов вскрышных пород и некондиционного мергеля с расчетом величины технического риска, учитывающего число видов воздействия поражающих факторов и частоту реализации каждого сценария чрезвычайной ситуации.

4. Разработана система средозащитных мероприятий по рекультивации отвалов, включающая комплекс противоселевых и противозерозионных мер, реализация которых позволит снизить экологическую опасность насыпных массивов за счет покрытия откосов геоматом и гидропосева трав, а также засадки территории насыпных массивов древесной и кустарниковой растительностью, способной к закреплению в условиях сухого субтропического климата Черноморского побережья Северо-Западного Кавказа.

5. Эколого-экономическими расчетами определен эффект от применения предлагаемого проекта рекультивации, составляющий более 1,5 млн Р, с учетом вероятностной оценки схода селевого потока. Сумма предотвращенного ущерба почвам как объекту охраны окружающей среды в Новороссийской промышленной агломерации составляет свыше 150 млн Р.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК

1. Пашкевич М.А. Мониторинг загрязнения почв в районе воздействия ОАО «Новоросцемент» / М.А. Пашкевич, **А.В. Алексеенко** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). № 10. – М.: «Горная книга», 2015. – с. 369–376.
2. Пашкевич М.А. Использование макрофитов для эколого-геохимического мониторинга состояния Цемесской (Новороссийской) бухты / М.А. Пашкевич, **А.В. Алексеенко** // Вода: химия и экология. № 2. – М.: Издательский дом «Вода: химия и экология», 2016. – с. 18–23.

Статьи в журналах, индексируемых WoS и/или Scopus

3. Пашкевич М.А. Биогеохимическая и геоботаническая оценка состояния морских аквальных экосистем (г. Новороссийск) / М.А. Пашкевич, **А.В. Алексеенко**, Е.В. Власова // Вода и экология: проблемы и решения. № 3. – СПб.: СПбГАСУ, 2015. – с. 67–80.
4. Alekseenko A.V. Novorossiysk agglomeration landscapes and cement production: geochemical impact assessment / **A.V. Alekseenko**, М.А. Pashkevich // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. V. 43. № 1. Institute of Physics Publishing, UK, 2016. – P. 2050.
5. Alekseenko V.A. Metallisation and environmental management of mining site soils / V.A. Alekseenko, М.А. Pashkevich, **A.V. Alekseenko** // Journal of Geochemical Exploration. № 174. Elsevier B.V., Netherlands, 2017. – P. 121–127.
6. Пашкевич М.А. Оценка и контроль эколого-экономического риска в Новороссийской промышленной агломерации / М.А. Пашкевич, **А.В. Алексеенко**, Т.А. Петрова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. Вып. 1. – Тула: ТулГУ, 2018. – с. 23–35.

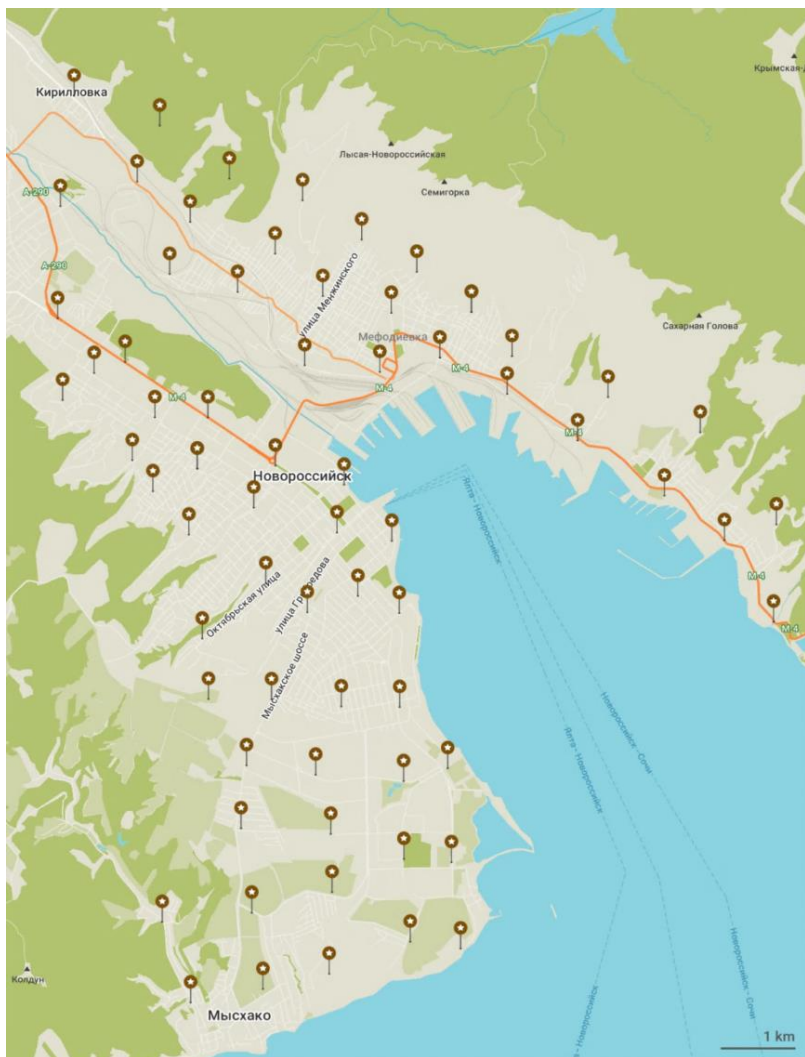


Рисунок 1. Карта-схема обследования ландшафтов Новороссийской промышленной агломерации с отбором проб поверхностных горизонтов почв



Рисунок 2. Карта-схема пикетов описания и отбора проб водорослей видов падина (*Padina pavonia*), цистозира (*Cystoseira barbata*) и энтероморфа (*Enteromorpha intestinalis*) в акватории Цемесской (Новороссийской) бухты



Рисунок 3. Схема деления городских ландшафтов Новороссийской агломерации по особенностям рельефа и растительного покрова



Рисунок 4. Расположение отвалов добычи цементного сырья в г. Новороссийске. Фото Е. Птушка / Strana.ru

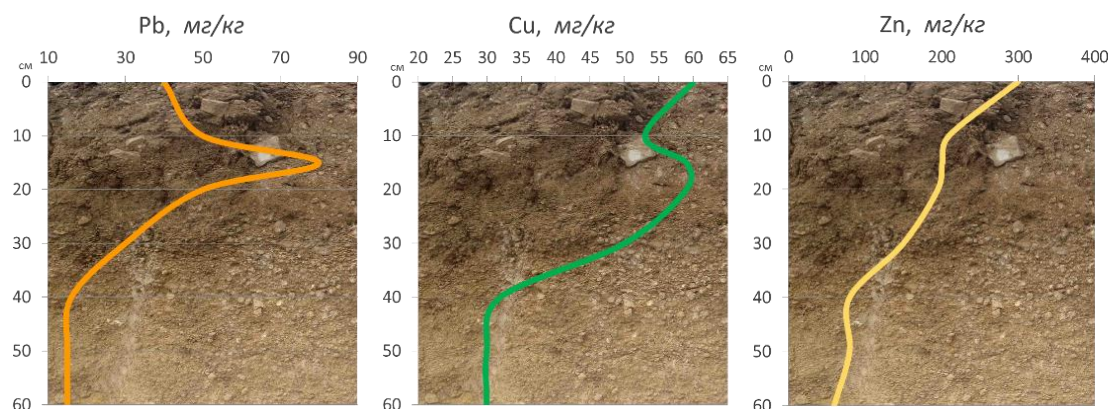


Рисунок 5. Радиальное распределение основных загрязняющих элементов в почвенном профиле трансаккумулятивного ландшафта

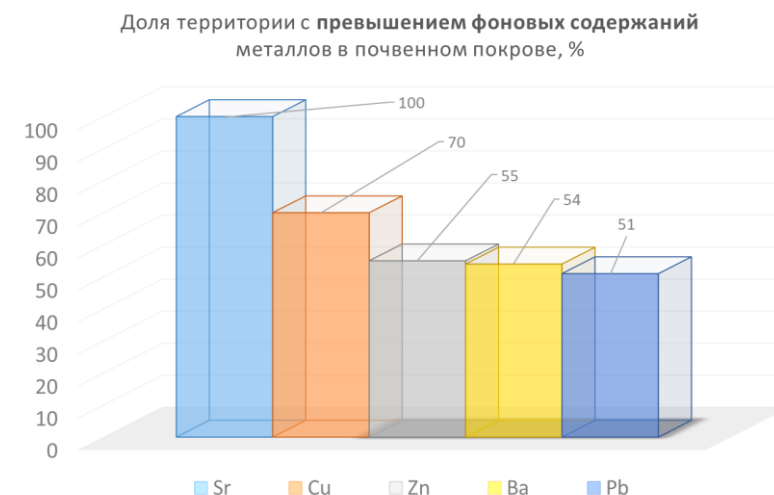


Рисунок 6. Пространственная характеристика загрязнения почв металлами в сравнении с ненарушенными ландшафтами

Таблица 1. Средние содержания элементов в золе водорослей *Cystoseira barbata* в Цемесской (Новороссийской) бухте, мг/кг

Участок бухты	Химический элемент											
	Cu	Zn	Pb	Co	Ni	V	Cr	Sn	Mo	Mn	Ti	Ba
Западный биогенный	30,0	30,0	7,3	6,0	18,3	2,0	1,0	3,0	3,7	233,3	366,7	300,0
пос. Мысхако	44,4	53,8	11,3	8,9	24,4	2,6	1,3	6,8	9,7	562,5	531,3	425,0
пос. Алексино	47,5	178,0	17,1	8,4	30,6	3,1	2,8	8,9	9,4	625,0	575,0	362,5
г. Новороссийск	51,8	57,3	13,8	8,2	22,7	2,6	1,2	6,0	6,2	463,6	636,4	454,5
Восточный биогенный	41,7	48,3	10,3	6,5	22,5	3,0	1,0	7,0	5,3	583,3	616,7	466,7

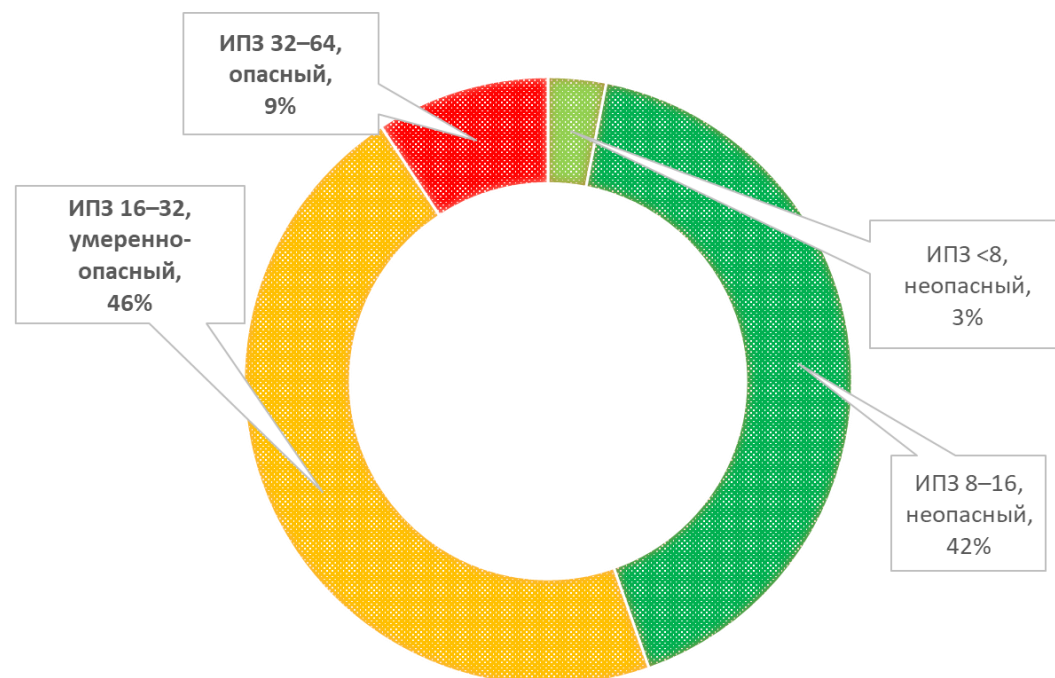


Рисунок 7. Распределение площадей (%) с различными уровнями интегрального показателя загрязнения почв Новороссийской промышленной агломерации

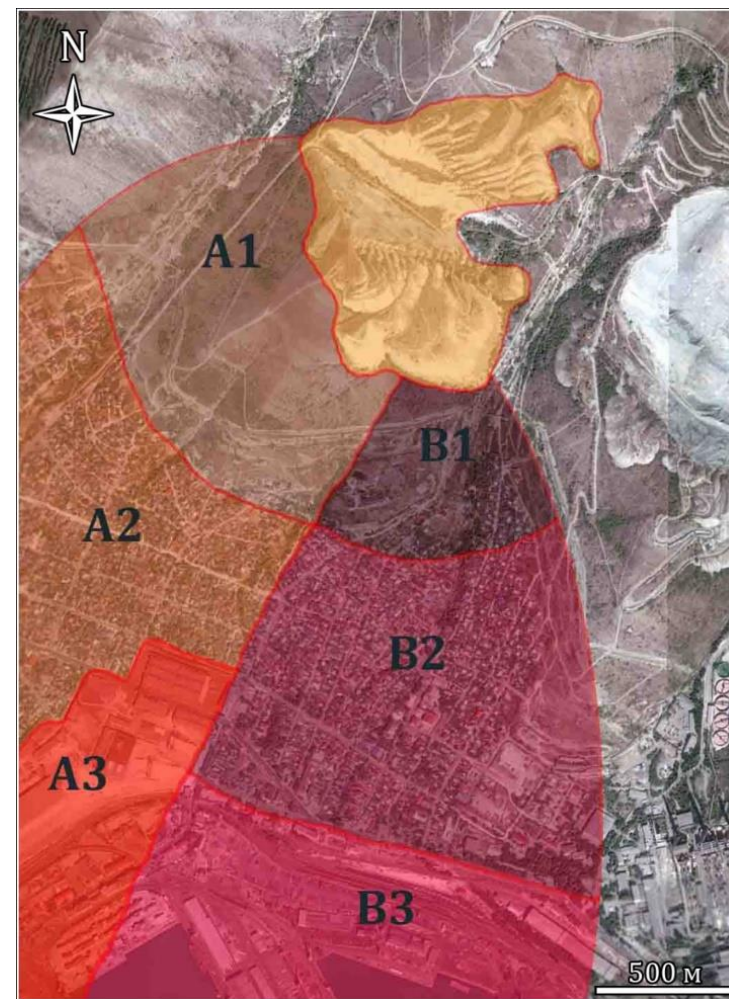


Рисунок 8. Схема зонирования селеопасной территории, прилегающей к отвалам в Новороссийской промышленной агломерации (на основе космоснимка системы Yandex).

Участки A1–A3 и B1–B3 являются территориями, находящимися в зоне риска схода селевого потока с насыпных массивов

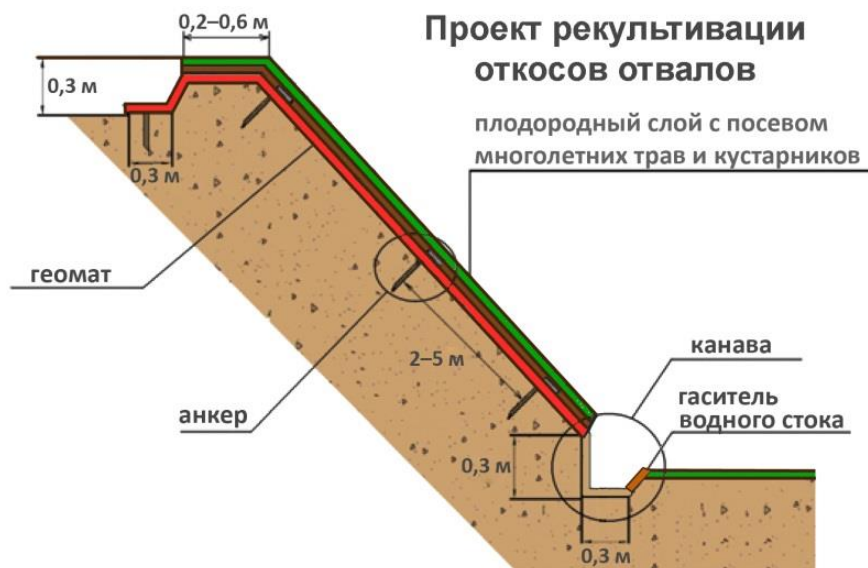


Рисунок 9. Схема укладки и закрепления геомата на откосах отвалов при проведении рекультивационных работ

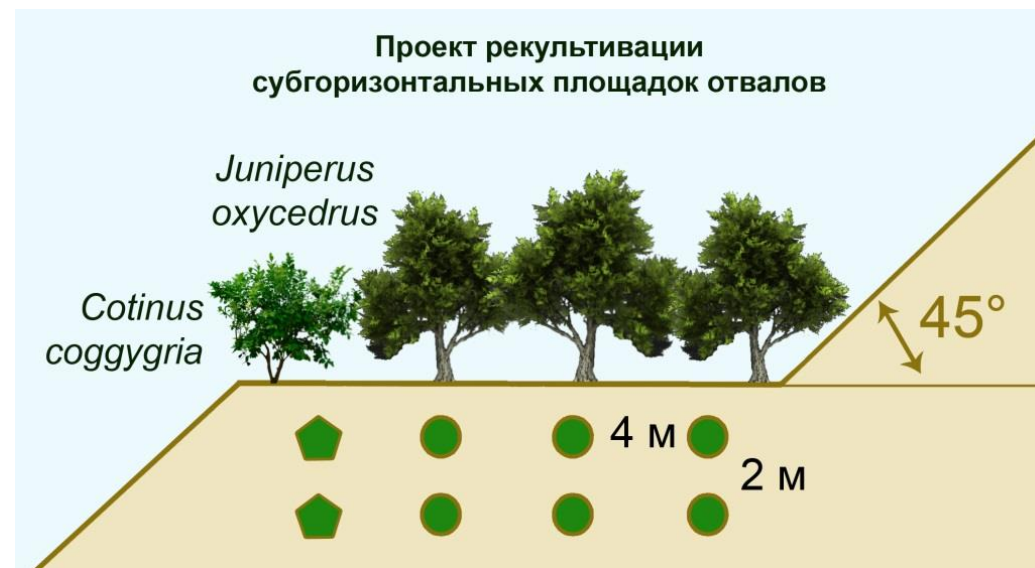


Рисунок 10. Схема посадки древесных растений на террасах отвала: скумпия, 25 %, можжевельник, 75 %



Рисунок 11. Пробные площадки посадки можжевельника *Juniperus foetidissima* (№№ 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12) и скумпии *Cotinus coggygia* на субгоризонтальных террасах отвалов (№№ 1, 5, 9)

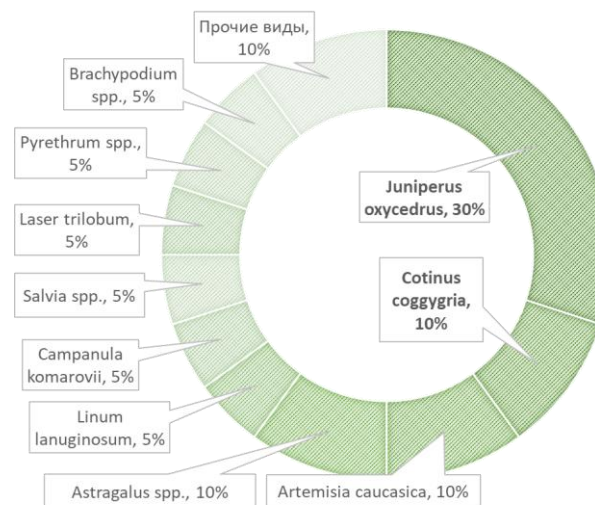


Рисунок 12. Прогнозное видовое разнообразие фитоценоза отвалов на второй год рекультивации. **Полужирным** шрифтом отмечены можжевельник (30 %) и скумпия (10 %)