

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

Алексеевко Алексей Владимирович

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

Специальность 25.00.36 – Геоэкология
(в горно-перерабатывающей промышленности)

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор **М.А. Пашкевич**

Санкт-Петербург – 2018

Оглавление

Введение	5
Глава 1 Географическая характеристика Новороссийской промышленной агломерации	11
1.1 Геологическое строение и почвообразующие породы	12
1.2 Геоморфологические условия	14
1.3 Климатические условия	17
1.4 Гидрологическая характеристика	21
1.5 Растительный покров.....	22
1.6 Почвенный покров.....	23
1.7 Выводы.....	25
Глава 2 Методика исследования.....	26
2.1 Методика полевых работ	26
2.2 Методы лабораторного анализа	29
2.3 Статистические методы обработки данных	31
2.4 Методика эколого-геохимической оценки состояния окружающей среды.....	31
2.5 Выводы.....	35
Глава 3 Оценка состояния окружающей среды	37
3.1 Техногенная нагрузка на ландшафты	37
3.1.1 <i>Геохимические процессы в городских ландшафтах</i>	<i>39</i>
3.1.2 <i>Последствия изменений в геохимических циклах городской среды</i>	<i>44</i>
3.1.3 <i>Подходы к оценке геохимических характеристик городских ландшафтов</i>	<i>46</i>

3.1.4	<i>Источники загрязнения ландшафтов Новороссийской промышленной агломерации</i>	49
3.2	Загрязнение ландшафтов промышленной агломерации	60
3.2.1	<i>Пылевидные твердые частицы в атмосферном воздухе</i>	60
3.2.2	<i>Загрязнение почвенного покрова</i>	68
3.2.3	<i>Воздействие условий рельефа на загрязнение почв</i>	75
3.2.4	<i>Воздействие растительных сообществ на загрязнение почв</i> ..	82
3.2.5	<i>Экологическая опасность загрязнения почв</i>	86
3.2.6	<i>Определение накопленного экологического ущерба</i>	87
3.3	Загрязнение аквальных ландшафтов Цемесской бухты	90
3.3.1	<i>Общие сведения о водорослях региона</i>	91
3.3.2	<i>Выделение экологически неблагоприятных зон</i>	92
3.3.3	<i>Мониторинг загрязнения</i>	93
3.4	Риск селеобразования	95
3.4.1	<i>Условия формирования селевого потока</i>	95
3.4.2	<i>Оценка риска селя и его возможные последствия</i>	99
3.4.3	<i>Факторы угрозы оползлов окружающей среде</i>	104
3.5	Выводы.....	106
Глава 4 Снижение экологической опасности оползлов		107
4.1	Определение направления рекультивации.....	109
4.2	Рекультивация склонов	112
4.2.1	<i>Технический этап закрепления субстрата</i>	112
4.2.2	<i>Биологический этап посева трав</i>	119
4.3	Рекультивация террас	123

4.3.1 Технический этап подготовки площадки.....	123
4.3.2 Биологический этап посадки деревьев	123
4.4 Устойчивость создаваемого ландшафта.....	127
4.4.1 Эволюция биогеоценоза.....	127
4.4.2 Накопление элементов питания растений.....	129
4.4.3 Формирование сообщества почвенных микроорганизмов.....	131
4.5 Экономическая целесообразность рекультивации.....	132
4.5.1 Затраты на технический этап рекультивации.....	132
4.5.2 Затраты на биологический этап рекультивации.....	136
4.5.2 Суммарные затраты на технический и биологический этапы рекультивации.....	138
4.6 Мониторинг состояния рекультивированных отвалов	139
4.7 Выводы.....	141
Заключение.....	143
Список литературы	144
Приложение А.....	165
Приложение Б	168
Приложение В	172
Приложение Г	175
Приложение Д.....	176
Приложение Е	177
Приложение Ж.....	178

Введение

Актуальность исследования. Горная промышленность является одной из основ развития мировой цивилизации. Уровень потребления минеральных ресурсов постоянно увеличивается с развитием науки и техники, экономическим прогрессом, ускорением урбанизации и ростом населения. В определенной мере, будущее человечества зависит от горнодобывающей промышленности. Однако извлечение полезных ископаемых сопряжено со значительным негативным воздействием на окружающую среду, здоровье и безопасность человека при масштабном и долговременном нарушении и загрязнении прилегающих к горным выработкам ландшафтов.

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 осаждаются на поверхности почвы, усиливая загрязнение селитебных ландшафтов; также пылевая нагрузка сказывается на поверхностных водах при смыве загрязненного почвенного покрова.

Особую опасность представляют нерекультивированные территории складирования отходов добычи цементного сырья в Новороссийской промышленной агломерации представляют опасность для окружающей среды 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.

Степень изученности проблемы. 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. Vech, 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 картографирования 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 обоснована стратегия управления экологической безопасностью насыпных массивов предприятий цементного производства, базирующаяся на разработанной системе мониторинга и ранжирования техногенных ландшафтов, позволяющей выделять территории повышенного экологического риска для первоочередного внедрения средозащитных мероприятий.

Защищаемые положения:

Пыление нерекультивированных 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.

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.

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 противозерозионных лесонасаждений можжевельника *Juniperus oxycedrus* и скумпии *Cotinus coggygria*.

Методы исследования. Обзор и анализ существующих способов уменьшения воздействия добычи и переработки цементного сырья 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 вытяжки подвижных форм металлов (1 н. HNO₃ и ацетатно-аммонийный буфер с рН 4,8); полевые замеры концентраций пыли в воздухе (фракции 1–10 мкм) в трехкратной повторности. Цифровое ландшафтно-геохимическое картографирование техногенно нарушенных территорий с использованием данных дистанционного зондирования Земли (космических снимков). Подбор наиболее эффективного способа рекультивации отвалов карьеров цементного сырья и посадка закрепляющих почву травянистых, древесных и кустарниковых видов растений на пробной площадке.

Исследования проведены с использованием оборудования Центра коллективного пользования Горного университета.

Практическая значимость работы:

- разработана методика проведения биогеохимического мониторинга загрязнения и картографирования наземных и водных ландшафтов;
- выполнена оценка накопленного экологического ущерба селитебным ландшафтам в районе воздействия цементного производства, 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 картографирования 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 науки и высшего образования России (в том числе, 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.

Структура и объем 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 наименований

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность за научное руководство, советы и помощь в работе профессору, д.т.н. М.А. Пашкевич. Автор благодарит профессора, д.г.-м.н. В.А. Алексеенко, вдохновившего своим примером на научную работу и помогавшего в организации полевых и лабораторных исследований. Написание диссертации стало возможным благодаря моральной поддержке к.г.-м.н. М.М. Мачевариани, которой автор выражает свою искреннюю признательность.

Автор благодарит И.В. Алексеенко, А.М. и В.Н. Дурягиных, И.И. Мицака, М.О. Орлова, А.А. Трофимова и Н.А. Чернякевич, чья бескорыстная дружеская помощь позволила собственными силами провести полевой этап исследований. Коллектив кафедры геоэкологии Горного университета неоднократно обсуждал ведущуюся работу и давал критические замечания, помогая улучшить ее, за что автор искренне признателен своим коллегам.

Автор выражает благодарность профессору, доктору К. Дребенштедту (Prof. Dr. Carsten Drebenstedt) за научное руководство в период полугодовой стажировки, а также доктору Г. Липпманну (Dr.-Ing. Günter Lippmann) и доктору Т. Шепелю, (Dr.-Ing. Taras Shepel) за всестороннюю помощь в организации работы во Фрайбергской горной академии (TU Bergakademie Freiberg). Стажировка пройдена при финансовой поддержке совместной стипендиальной программы «Михаил Ломоносов» Министерства образования и науки РФ и Германской службы академических обменов.

Автор благодарен А. Элбакян – создателю интернет-ресурса Sci-Hub, обеспечивающего свободный доступ к полным текстам научных трудов, и Е. Сорокину, любезно предоставившему материалы аэрофотосъемки территории Новороссийской промышленной агломерации.

Предполагаемое 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, противозрозионных и рекультивационных мероприятий.

Глава 1 Географическая характеристика Новороссийской промышленной агломерации

Новороссийск – город с населением более 300 тыс. жителей на побережье Цемесской (Новороссийской) бухты Черного моря в юго-западной части Краснодарского края, (рис. 1.1). Первые поселения греков на месте современного города возникли в V веке до н.э., затем земли были захвачены кочевыми племенами аланов, вошли в состав Золотой Орды и позже Османской империи. В 1838 г. на отвоеванной территории основано укрепление, выросшее в город Новороссийск. После открытия одного из крупнейших в мире месторождений мергеля, в 1882 г. в городе началась его открытая разработка для производства цемента. Добыча и переработка сырья прерывались только в периоды Гражданской (Гладков, 1980) и Великой Отечественной (Брежнев, 1982) войн, когда в городе велись ожесточенные боевые действия и цеха предприятия были разрушены. Основным видом деятельности завода в настоящее время является производство сульфатостойкого портландцемента со среднегодовым выпуском, составляющим, по данным предприятия, около 500 тыс. т. Кроме того, в настоящее время Новороссийская агломерация является важным промышленно-транспортным центром и входит в число крупнейших европейских городов-портов. Через «южные ворота» России осуществляется одна треть всех стратегических товарно-экспортных перевозок: среднегодовой грузооборот составляет 75 млн т, что включает нефть, металлы, контейнеры, бумагу/целлюлозу, химические удобрения, зерно, пищевые продукты и другие грузы. Помимо цементного, строительного и пищевого промышленных производств, в городе развита туристическо-рекреационная сфера – преимущественно, в пос. Абрау-Дюрсо и урочище Широкая Балка. Город делится на два ландшафтных района: равнинный в западной части и горный в восточной. В восточном расположены порт, карьеры по добыче мергеля, цементный завод, нефтеналивные терминалы, железнодорожный вокзал, вагоноремонтный цех и некоторые другие промышленные предприятия. В западной, селитебной части проживает около 80 % населения города (Белюченко, 2005).



Рис. 1.1. Вид Новороссийской промышленной агломерации с северной окраины на Маркотхском хребте в сторону Цемесской бухты на юге (фото Е. Сорокина)

1.1 Геологическое строение и почвообразующие породы

Территория г. Новороссийска находится в Альпийско-Гималайском складчатом поясе, на складчатом основании платформы, деформированном в конце олигоцена–неогене. Горная система создана сводово-блоковыми поднятиями и складчатыми деформациями на альпийских складчатых комплексах.

Стратиграфическое и литологическое описания Новороссийского района проводились по результатам изучения серии крупных разрезов, таких как Липкенский, Мефодиевский, Пенайский, Куниковский и Мысхакский. Исследуемый район практически исключительно состоит из осадочных пород, претерпевающих с третичной эпохи складчатую дислокацию (рис. 1.2).

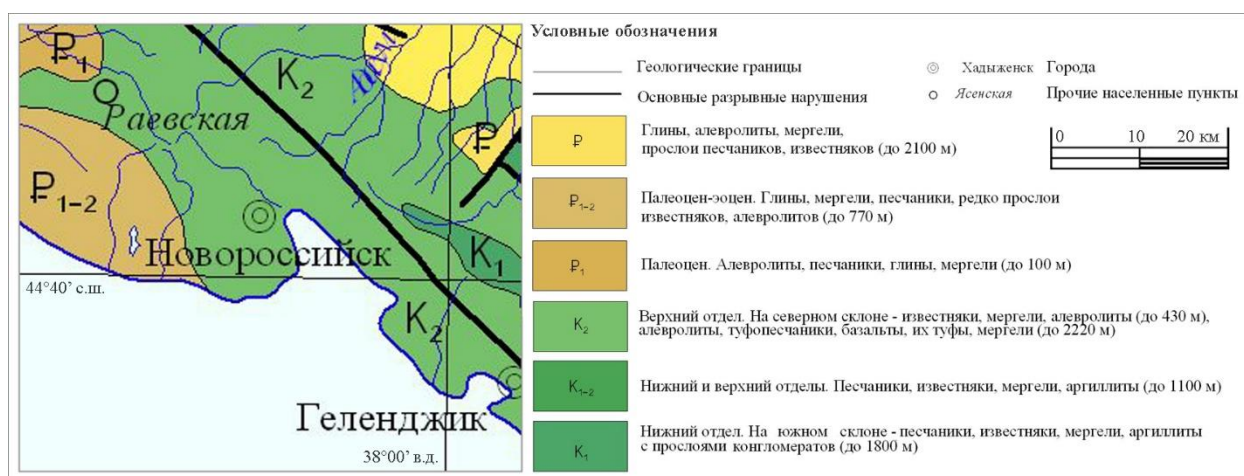


Рис. 1.2. Фрагмент геологической карты Краснодарского края (источник: www.vsegei.com)

В окрестностях Новороссийска горные массивы сложены верхнемеловыми и нижнемеловыми отложениями. Верхнемеловые отложения включают в себя два отдела:

- верхний отдел – меловой флиш – глинисто-песчаная фракция, состоит из светло-синих сланцевых глин, глинистых сланцев (обе группы пород имеют известковый состав), мергелей-«трескунов» и слойчатых песчаников «дикарей», имеющих серый цвет со стальным оттенком;

- нижний отдел – глинисто-известняковая фракция, представленная светлыми кремнистыми известняками.

Толща верхнего мела на территории г. Новороссийска представлена осадками туронского, коньякского, сантонского, кампанского и маастрихского ярусов.

Маркотхская серия. Большая часть турона и весь коньяк представлены в изучаемом районе маркотхской серией, состоящей на 88 % из глинистых известняков, облегающих слабо занесенные склоны Маркотхского хребта. В маркотхской серии выделено шесть разновидностей пород (Нагалеvский, Чистяков, 2003):

- 1) песчаники («дикари»);
- 2) алевролиты («дикари» – содержание CaCO_3 колеблется от 2 до 92 %, глауконита до 15 %, полевого шпата до 25 %, слюды до 3 %);
- 3) глинистые известняки («натуралы» – содержание CaCO_3 от 75 до 82,1 % и «высокие известняки» - содержание CaCO_3 от 82,1 до 89,3 %);
- 4) сильно глинистые известняки («романчики» – содержание CaCO_3 от 67,9 до 75,0 %);
- 5) мергели («трескуны» – содержание $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ от 32,1 до 67,9 %);
- 6) известковистые глины («подмазки» – содержание $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ менее 32,1 %).

Нижнемеловые породы представлены в основном сланцевыми глинами, в отдельных горизонтах бескарбонатными, с пластинами сидерита и сферосидерита. Нижнемеловые глины темные, на основании чего можно четко проводить границу между верхнемеловыми и нижнемеловыми отложениями. Вышеперечисленные породы резко отличаются друг от друга по своей способности разрушаться под действием атмосферных осадков и перепадов температуры: нижнемеловые породы разрушаются легко, а верхнемеловые труднее. Вследствие этого высокие горы сложены в основном верхнемеловыми отложениями, а долины рек – нижнемеловыми (Любимова и др., 2016). Благодаря малой мощности поверхностных отложений, разработка месторождения мергеля для производства цемента ведется открытым способом на склонах Маркотхского хребта (рис. 1.3)



Рис. 1.3. Вид Новороссийской промышленной агломерации с северной окраины на Маркотхском хребте в сторону Цемесской бухты на юге (фото Е. Сорокина)

Средний состав мергелей и формирующихся на них почв ненарушенных территорий лесных ландшафтов Северо-Западного Кавказа представлен в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Средний химический состав почв (Алексеевко и др., 2008а) и почвообразующих пород в районе Маркотхского хребта на северо-западной оконечности Большого Кавказа, мг/кг

Объект анализа	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	Zn
Фоновые почвы	800,0	21,0	137,0	58,0	52,0	2,6	48,0	42,0	5,1	340,0	143,0	123,0
Мергель	433,3	7,3	53,3	30,0	40,0	1,3	20,0	18,3	2,3	6,7	30,0	70,0

1.2 Геоморфологические условия

Город Новороссийск вытянулся на 25 км амфитеатром вокруг Цемесской бухты и окружен горами Северо-Западного Кавказа (рис. 1.1). Территория города имеет сложный, гористый, сильно пересеченный рельеф, основным морфологическим элементом которого является хребет Маркотх, представляющий собой северо-западную оконечность главного Кавказского хребта, а также Абраусский и Дообский горные массивы. Хребет Маркотх начинается между поселком Верхнебаканским и станицей Раевской и протягивается с северо-востока на юго-запад, вдоль Черноморского побережья. В районе города Новороссийска максимальная высота хребта достигает 559 м над уровнем моря (гора Сахарная голова). У подножия Маркотхского хребта расположена долина реки Цемес и Цемесская (Новороссийская) бухта. Берега бухты слабо изрезаны, максимальная глубина составляет 27 м. Со стороны моря она ограничена мысами Дооб и Мысхако, а также Суджукской косой. В настоящее время происходит очень слабое поднятие гор, окружающих море: несколько миллиметров, до первых сантиметров в столетие. Одновременно происходит поднятие уровня моря, от 20 до 25 см в столетие (Нагалецкий и др., 2004).

Рельеф города Новороссийска можно разделить на четыре генетических типа: эрозионно-денудационный, эрозионно-аккумулятивный, абразионный и аккумулятивный.

Эрозионно-денудационный тип рельефа характерен для наиболее высоких участков района Маркотхского и Коцехурского хребтов и Дообского горного массива. По степени расчленения выделяют два подтипа рельефа: слаборасчлененный (Северный склон Коцехурского хребта) и среднерасчлененный. Абсолютные отметки в пределах названных участков колеблются от 700–600 до 200–240 м. Склоны хребтов относительно крутые и расчленены многочисленными балками и щелями. Для хребтов данного рельефа характерно, в основном, структурное так называемое главное кавказское направление

(ЗСЗ–ВЮВ). Формы рельефа представлены: древними поверхностями выветривания на отметках от 450 до 640 м, участками выравненных склонов и речных террас на отметках от 200 до 440 м, моноклиральными гребнями (Неберджаевский перевал), оползнями на северных склонах Маркотхского и Коцехурского хребтов (Нагалеvский, Чистяков, 2003). На склонах Маркотхского хребта расположены отвалы (рис. 1.4).



Рис. 1.4. Отвалы на склонах Маркотхского хребта (источник: www.strana.ru)

Склоны хребта ассиметричны: северо-восточный – крутой, юго-западный более пологий, что обусловлено литологическим составом и залеганием слагающих их пород. Они расчленены многочисленными долинами преимущественно сухих ручьев, русла их заполнены неокатанной щебенкой известняковых пород. Большая часть территории лишена древесной растительности. Южная часть покрыта низкорослым лесом и кустарниками из сухолюбивых пород. Вершины гор и хребтов выше 400 м безлесны и покрыты горно-степной и горно-луговой растительностью.

Эрозионно-аккумулятивный рельефом характеризуются древние и молодые долины рек. Большинство рек района имеют широкие, хорошо разработанные долины с пологими склонами. Таковы U-образные долины рек Цемес, Дооб, Адегат, Псиж и др. Наиболее хорошо разработаны долины рек, протекающих в северной части района по предгорной равнине. Здесь, на отдельных участках, на отметках от 340 до 350 м наблюдаются участки древней речной террасы. Долина реки Цемес достигает ширины около двух километров, имеет относительно плоское днище, крутой левый и более пологий правый склоны.

Мощность четвертичных отложений от 0 до 16 м и более (Любимова и др., 2016). Местами в низовьях долины встречены глины, которым некоторые исследователи приписывают морское происхождение, связанное с ингрессией моря.

Долины мелких ручьев и временных протоков имеют преимущественно консеквентную форму. У впадения их в крупные долины р. Цемес, р. Дооб и других образуются конусы выноса.

Абразионный тип рельефа характерен для небольшой части района. Юго-восточная часть полуострова Дооб и небольшие платообразные участки на юго-востоке окончания полуострова Абрау (район п. Мысхако) представляют собой абразионные плато (высота над уровнем моря около 100 м), переработанные процессами эрозии и денудации. Возможно, это остатки высокой морской террасы (Чаудинской). Морские отложения здесь отсутствуют. Небольшие участки древних морских террас отметках от 60–70 до 20–30 м на полуострове Абрау. Такие же участки встречаются на южном склоне Маркотхского хребта в виде плохо выраженных «плеч» и перегибов склона. На всем протяжении вдоль берега Черного моря развит активный клиф. Береговые обрывы имеют высоту до 40–60 м (Нагалеvский, Чистяков, 2003). Полоса пляжа узка (не более 20 м), а часто вообще отсутствует.

В береговой полосе в результате интенсивной абразионной деятельности моря часто возникают обвалы и оползни.

Аккумулятивный тип рельефа можно разделить на два подтипа: аккумулятивный рельеф морского побережья и аккумулятивный рельеф предгорной равнины. Аккумулятивный рельеф морского побережья представлен небольшой Суджукской косой. Коса расположена параллельно северному берегу Цемесской бухты и имеет протяженность около полутора километров при ширине около 250 м. Сложена она песками и представляет собой морское аккумулятивное образование. Аккумулятивный рельеф предгорной равнины характерен для крайней северной части района, перекрытой мощным плащом четвертичных отложений. Формы рельефа мягкие. Невысокие гряды холмов (абсолютные высоты от 100 до 160 м) имеют пологие склоны. Относительные превышения водоразделов над руслами невелики: от 40 до 60 м (Нагалеvский и др., 2004).

По геоморфологическим особенностям в городе выделяются трансэлювиальные (верхние части склонов), трансаккумулятивные (нижние части склонов) и транссупераквальные (надводные склоны) геохимические ландшафты (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Схема деления городских ландшафтов по особенностям рельефа (Алексеевко, Пашкевич, 2015б)

По особенностям застройки были обособлены ландшафты с одноэтажными, 2–5 этажными и 5–10 этажными домами, а кроме того были отдельно выделены ландшафты, занятые промышленными предприятиями (заводами, морскими портами, железнодорожной станцией), а также пустыри. Учет особенностей городской растительности позволил обособить ландшафты с фруктово-ягодной, смешанной и декоративной растительностью; к последним отнесены парки и скверы (Пашкевич, Алексеевко, 2015а).

1.3 Климатические условия

Город Новороссийск, расположенный на берегу Черного моря, имеет сухой субтропический климат, для которого характерно жаркое сухое лето и теплая влажная зима. На климат территории исследования большое влияние оказывают два антициклона: Сибирский (зимой) и Азорский (летом). Их воздействие приводит к устойчивой ясной погоде: холодной – зимой и теплой – летом. Кроме того, климат и погода во многом определяются прохождением циклонов из региона Атлантики или Средиземного моря, приносящих дождливую неустойчивую погоду.

Климатические особенности оказывают существенное влияние на миграцию и концентрацию химических элементов в рассматриваемом регионе. Они определяются положением региона внутри Евразийского континента. Однако, наличие такого крупного водоема, как Черное море, оказывает смягчающее влияние и климат не может считаться полностью континентальным, хотя определенная континентальность характерна для всего Северо-Западного Кавказа.

Годовая амплитуда температур составляет около 20–25 °С (табл. 1.2). Средняя температура самого холодного месяца, января, в Новороссийске равна +3 °С. Средняя температура в июле на Черноморском побережье колеблется от +23 до +25 °С, часто доходя до +35 °С. Средняя годовая температура в городе превышает +10 °С (рис. 1.6).

Среднегодовое количество атмосферных осадков в Новороссийске в среднем составляет не менее 700 мм. Выпадают осадки главным образом в виде дождей, устойчивый снежный покров не образуется.

Таблица 1.2

Средние величины температуры и количества осадков в г. Новороссийске

(по данным www.worldclimate.com)

Показатель	Янв.	Фев.	Март	Апр.	Май	Июнь	Июль	Авг.	Сен.	Окт.	Нояб.	Дек.	Год
Средняя температура, °С	2,3	2,7	5,8	10,5	15,8	20,2	23,7	23,6	19,1	14,3	8,6	4,8	12,6
Норма осадков, мм	84	74	57	49	43	58	60	47	52	57	75	104	758

Среди главных метеорологических особенностей города Новороссийска и прилегающих территорий стоит отметить сильные ветры северо-восточного и южного направлений (рис. 1.6), в среднем около 20 дней в году скорость ветра здесь превышает 15 м/с. Преобладание таких направлений ветра в Новороссийске связано с расположением города и рельефом местности. Сильные северо-восточные ветры, дующие со стороны гор, называются борой или норд-остом. Горизонтальный масштаб явления по оценкам и по качественным наблюдениям за разрушениями во время боры (Торопов, Шестакова, 2014) составляет около 50 км по направлению потока, и приблизительно 100 км вдоль береговой линии (участок побережья Большой Утриш – Джубга). Новороссийская бора возникает в благоприятных синоптических условиях – на южной периферии антициклона, в тылу циклона или при сочетании антициклона над Европейской частью России и циклона над Черным морем – и ее мощность зависит от вертикальной структуры натекающего на горы потока – профиля скорости ветра и температурной стратификации. Для боры характерно наличие низкотропосферного струйного течения на высоте около 1 км (бора всегда сопровождается наличием такого течения).

В среднем за год бора в Новороссийске дует 46 дней. Наибольшая повторяемость боры приходится на зимние месяцы (в среднем 18 дней за сезон), а также осень (12 дней) и весну (11 дней). Летом бора бывает значительно реже – 5 дней за сезон – и обычно она более слабая, чем зимой. В среднем 5 дней в году средняя скорость ветра при боре достигает штормовой силы, превышая 20 м/с, а один раз в 2 года достигает скорости урагана (более 33 м/с) с порывами до 40 м/с. Примерно один раз в 10 лет в Новороссийске

наблюдается катастрофическая бора, которая приводит к значительным разрушениям и человеческим жертвам, и практически полностью парализует работу новороссийского порта. Часто бора сопровождается ультраполярными вторжениями, в результате температура воздуха может понижаться на 15°C всего за несколько часов; при отрицательной температуре во время боры возникают гололедные явления и обледенение судов. Южный ветер – второй по повторяемости в Новороссийске (рис. 1.6). Скорость такого ветра может достигать штормовой силы (в 1–2 % случаев), однако в 90 % случаев не превышает 10 м/с. Около 30 % таких штормов возникают в ноябре–декабре, что связано с активизацией циклонической деятельности и высокой частотой возникновения мезоциклонов. Южные ветра часто вызывают сильное волнение, высота волн в Цемесской бухте, в районе Шесхариса, может достигать 3–4 м (Шестакова и др., 2015).

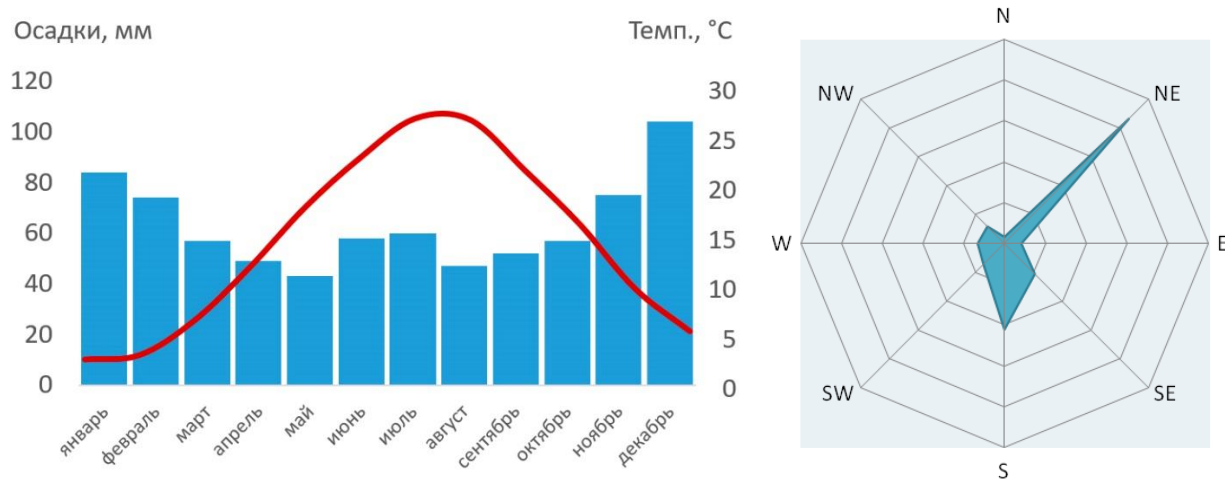


Рис. 1.6. Слева направо: годовой ход среднемесячных температур воздуха и осадков (составлено по данным www.worldclimate.com); повторяемость направления ветра за десятилетний период (2000–2010 гг.) по данным метеостанции г. Новороссийска

Таким образом, из-за расположения карьера и цементного завода на склоне Маркотхского хребта (рис. 1.7), при наиболее частых ветрах северо-восточного направления цементная пыль переносится от отвалов и завода в сторону города, представляя угрозу при попадании в дыхательные пути (III класс опасности) и действуя в атмосфере как сорбент, осаждающий выбросы других предприятий и усиливающий загрязнение в черте города. При южных ветрах выбросы завода воздействуют на лесные ландшафты, приводя к гибели древесной растительности (Алексеенко, 2015б; Алексеенко, 2016б).

Особенности выпадения атмосферных осадков способствуют также образованию селевых потоков. Они обладают особо разрушительной силой, если в их формировании участвуют смерчи. Наибольший ущерб от селевых потоков испытывают южные склоны

Северо-Западного Кавказа. Так же как при наводнениях, а часто и в значительно большей мере, после схода селей может измениться геохимический облик почв и, в частности, содержание в них металлов.



Рис. 1.7. Схема расположения объектов ОАО «Новоросцемент» в Новороссийской промышленной агломерации (на основе космоснимка системы Yandex)

Перепады температур на суше и в прибрежных аквальных ландшафтах способствуют образованию смерчей (рис. 1.8), которые часто выходят на сушу. При этом происходят не только разрушения, оцениваемые как экономический ущерб, но на локальных участках изменяется экологическая обстановка, в частности, геохимические особенности почв. Смерчи, выходящие на сушу, в рассматриваемом регионе весьма часты. Иногда смерчи перемещаются уже по суше, на расстояние десятков километров. В Новороссийском районе наиболее известным за последнее время был выход смерча на сушу в 2002 году в курортной зоне Широкая балка. Связанное с ним повышение уровня воды в балке (летом по ней протекает небольшой ручей) привело к довольно крупной катастрофе с разрушением построек и человеческими жертвами (Алексеев и др., 2008б). В результате таких явлений на сушу из моря поступают не только дождевые, но и непосредственно морские воды с повышенным содержанием солей.



Рис. 1.8. Смерч в Цемесской (Новороссийской) бухте в июле 2014 г. (фото С. Воронец)

Описанные климатические особенности региона приводят также к возникновению довольно частых в регионе наводнений, наносящих экономический ущерб и приводящих к человеческим жертвам. В результате наводнений изменяются и геохимические особенности почв, содержание в них металлов. Результаты исследований, проведенных в районе города Новороссийска до и после наводнения, показали, что изменения могут быть довольно существенными, особенно в районах с широким развитием сельскохозяйственных геохимических ландшафтов (Алексеев и др., 2008б).

1.4 Гидрологическая характеристика

Рассматриваемая территория находится на стыке двух различных сред – суши и моря. Они тесно взаимосвязаны и между ними постоянно происходит обмен веществами. Цемесская бухта, известная также как Суджукская и Новороссийская, – самая большая на Черноморском побережье Кавказа. Вытянута в северо-западном направлении, она имеет длину 16 км, при ширине в средней части до 4,5 км (Алексеев и др., 2012).

Водам бухты свойственна кислородная окислительно-восстановительная обстановка, что является важным эколого-геохимическим показателем, контролирующим миграцию и концентрацию ряда химических элементов и, в первую очередь, элементов с переменной валентностью, а также распространение многих организмов, то есть влияющим на биологический круговорот химических элементов (Опекунов, 2005).

Предшествующие ландшафтно-геохимические исследования (Алексеев и др., 2015б) установили, что уже к концу XX в. в результате интенсивного загрязнения токсичными веществами и повышенной мутности воды в бухте практически полностью исчез мезо- и макробентос. Из живых представителей зообентоса остались только полихеты, а фитобентос встречается лишь в виде биоценозов обрастания на причалах, сваях, бетонных массивах и около молов (Симакова, 2009). В районе порта регистрируется наибольший процент икринок рыб с аномалиями в строении (70 %), что свидетельствует о значительном нарушении биологического круговорота веществ, произошедшем в порту и на участке бухты, непосредственно прилегающему к нему (Тюбулова, 2010). Наибольшей биомассой отличаются ландшафты с ассоциациями водорослей, доминантным видом у которых является бурая водоросль цистозира. Эти ландшафты располагаются вдоль обоих берегов бухты на глубине примерно 1,5–3,0 м (Панина, 2006).

1.5 Растительный покров

Черноморское побережье Кавказа по своей рекреационной значимости, красоте ландшафта и сосредоточению редчайшего гено- и ценофондов не имеет равных в России и представляет уникальную богатейшую природную коллекцию редких растительных сообществ.

Южный макросклон Северо-Западного Кавказа отличается большим разнообразием растительности. В северо-западной части Черноморского побережья Кавказа получили широкое распространение дубняки с преобладанием дубов пушистого и скального, а также насаждения сосны пицундской, арчевники из трех видов можжевельников (высокого, вонючего и красноватого), фисташковые редколесья, томиляры, трагакантники, нагорно-ксерофитные группировки. Району свойственен свой узкий эндемизм: чабрец геленджикский, чабрец маркотхский, гвоздика акантолимоновидная, зверобой торчащий, астрагал трагакантовый, и другие (Белюченко, 2005).

В приморском поясе получили широкое распространение леса с господством дуба пушистого и довольно богатым флористическим составом. Наиболее характерные сообщества – дубняк коротконожковый, иглицево-коротконожковое, дубово-грабинниковое, дубняки разнотравный и другие.

На сухих мергелистых склонах развиты сообщества с господством держидерева. На южных склонах и по водоразделам хребтов Маркотх, Нексис, Облего получили распространение реликтовые горные степи, остепененные луга с элементами нагорно-ксерофитной растительности. Можжевельниковые или арчевниковые редколесья сосредоточены на черноморском побережье Кавказа от г. Анапа до р. Мезыбь. Среди

сообществ наиболее характерны можжевельники разнотравный, жасминовый, грабинниковый и другие (Тильба, 1981).

На водораздельных частях произрастают дубовые и дубово-грабовые леса, сменяясь на восточных склонах буковыми и каштановыми. Подлесок разнообразный из кизила, бирючины, клекачки перистой. Среди общего лесного фона выделяются сосняки, представленные сосной пицундской, крымской и Коха.

В пределах юго-восточных склонов на побережье Черного моря на высотах от 50 до 500 метров над уровнем моря широко распространены леса из каштана, дуба Гартвиса, лещины крылоподобной, бука восточного, граба кавказского, ольхи, образующих различные сложные сообщества. Данный лес называют смешанным лесом из лиственных пород, для него также характерны лианы. По тенистым и влажным ущельям распространены самшитники. В колхидских лесах не получили широкого распространения травянистые виды (Нагалеvский, Чистяков, 2003).

На лесном фоне Черноморского побережья выделяются вершины водоразделов, лишенные лесной растительности. Это послелесные луга, которые представлены формациями вейника наземного, овсяницы луговой, трясуvнки средней, коротконожки перистой, костреца берегового и других (Белюченко, 2005).

1.6 Почвенный покров

Для изученной территории Новороссийской агломерации характерны антропогенно нарушенные почвы ландшафтов города и отвалов, имеющие различные классификационные названия – урбаноземы, техноземы, техногенные поверхностные образования (Герасимова и др., 2003). В целом, для данной территории характерны слабоструктурированные почвы, отличающиеся низким содержанием гумуса. Особенностью данных почв является большое процентное содержание включений техногенного происхождения.

В пределах ненарушенных ландшафтов изучаемого района выделены следующие типы почв: горно-лесные светло-серые, горно-лесные дерново-карбонатные, бурые горно-лесные, серые горно-лесные (Белюченко, 2005).

Светло-серые горно-лесные почвы имеют обычно несколько меньшую мощность гумусового горизонта, чем серые, но и в них она часто превышает 100 см. Для серых горно-лесных почв характерны: значительная мощность гумусового горизонта (до 140–150 см); выщелоченность от карбонатов; наличие некоторых признаков оподзоливания (Нагалеvский и др., 2004). Механический состав светло-серых и серых почв в большинстве случаев тяжелый. В них так же, как и в темно-серых почвах, верхний

оподзоленный горизонт имеет более легкий механический состав, чем элювиальный слитый горизонт. Данные по изучению этих почв показывают накопление в верхней части почвы кремнезема и в слитом горизонте полуторных окислов. В верхних горизонтах и по всему профилю отмечается весьма высокое содержание фосфора. Почвы имеют слабокислую реакцию. Светло-серые и серые горно-лесные почвы имеют низкое содержание подвижных форм питательных веществ. Отмечается резкое ухудшение водно-физических свойств в элювиальных горизонтах светло-серых и серых почв, что объясняется увеличением их плотности и глинистости.

Горно-лесные дерново-карбонатные почвы весьма различаются по мощности гумусовых горизонтов, выщелоченности и другим признакам. Механический состав дерново-карбонатных почв обычно тяжелосуглинистый и легкосуглинистый с преобладанием в составе фракции ила. В горизонте В эти почвы имеют иногда более высокое содержание илистой фракции, чем в верхней части профиля. Валовый состав дерново-карбонатных почв показывает некоторую выщелоченность от карбонатов верхних горизонтов почв. На глубине от 50 до 55 см резко уменьшается содержание таких важных веществ, как фосфор, калий и сера (Казеев, Колесников, 2015). Дерново-карбонатные почвы в выщелоченных разностях отличаются недостаточной прочностью, однако имеют выраженную структуру. Данные почвы обладают сравнительно рыхлым сложением и благоприятными водно-физическими свойствами. Содержание гумуса и общего азота в почвах довольно резко уменьшается с глубиной. В большинстве случаев наблюдается высокая подвижность азота и малое содержание подвижных фосфатов. Содержание водорастворимых веществ обычно невысокое (плотный остаток до 0,15 %). В верхних выщелоченных горизонтах дерново-карбонатные почвы имеют нейтральную реакцию; в карбонатных – слабощелочную (Нагалеvский, Чистяков, 2003). Содержание элементов в данном типе почв ненарушенных ландшафтов (табл. 1.1) рассматривалось как фоновое и использовалось в расчете показателей загрязнения техногенно нарушенных почв Новороссийской промышленной агломерации.

Общими морфологическими признаками горно-лесных бурых почв являются: бурая окраска по всему профилю, уменьшение содержания гумуса с глубиной; более плотное, иногда слитное сложение горизонта, наличие включений. Разность присутствует с весьма плотными горизонтами среди горно-лесных бурых почв. Такие почвы по своим водно-физическим свойствам мало отличаются от серых слитых почв. Горно-лесные бурые почвы часто имеют менее благоприятные водно-физические свойства, в то же время отличаются хорошей водопроницаемостью и аэрацией пахотного слоя (Белюченко, 2005).

Почвы долины реки Цемес представляют собой карбонатные, луговые и лугово-болотные почвы с тяжелым механическим составом, имеющие аллювиальное происхождение. На некоторых участках наблюдаются признаки заболачивания.

1.7 Выводы

Ландшафты Новороссийской промышленной агломерации, сформированные в условиях сухого субтропического климата с сильными северо-восточными ветрами характеризуются повышенным риском загрязнения атмосферного воздуха в связи с возможностью пылеобразования на незадернованных техногенно нарушенных территориях. Почвенный покров, развитый на карбонатных почвообразующих породах, создает условия, способствующие накоплению катионогенных элементов на щелочных геохимических барьерах. Протекание процессов миграции и аккумуляции поллютантов в городской среде может значительно трансформироваться в зависимости от меняющихся геоморфологических условий и растительного покрова, приводящих к перераспределению элементов по ландшафтно-геохимической катене. Конечной средой, испытывающей техногенную нагрузку как от осаждения загрязняющих веществ из атмосферного воздуха, так и от поверхностного смыва почвенного покрова, являются аквальные ландшафты Цемесской бухты.

Учет данных ландшафтно-геохимических факторов необходим при проведении оценки состояния окружающей среды исследуемой территории и позволяет дать наиболее объективную комплексную оценку экологической опасности источников загрязнения.

Глава 2 Методика исследования

2.1 Методика полевых работ

Полевые исследования на территории Новороссийской промышленной агломерации, а также прилегающих к мергелевому карьеру территорий и участков отвалов проведены в течение летних сезонов 2009, 2014 и 2015 гг.

При полевых работах проведено опробование верхнего (0–5 см) горизонта почв, являющегося наиболее индикативной с точки зрения загрязнения частью почвенного покрова – депонирующей геохимической средой. Работы велись по регулярной сетке (рис. 2.1) с шагом 1 км, являющейся наиболее репрезентативной в условиях исследования промышленной агломерации, покрывающей все основные геохимические ландшафты территории исследования (65 проб). Заложены 4 почвенных разреза в пределах жилой части города и на отвалах, с погоризонтным описанием и отбором образцов (17 проб).

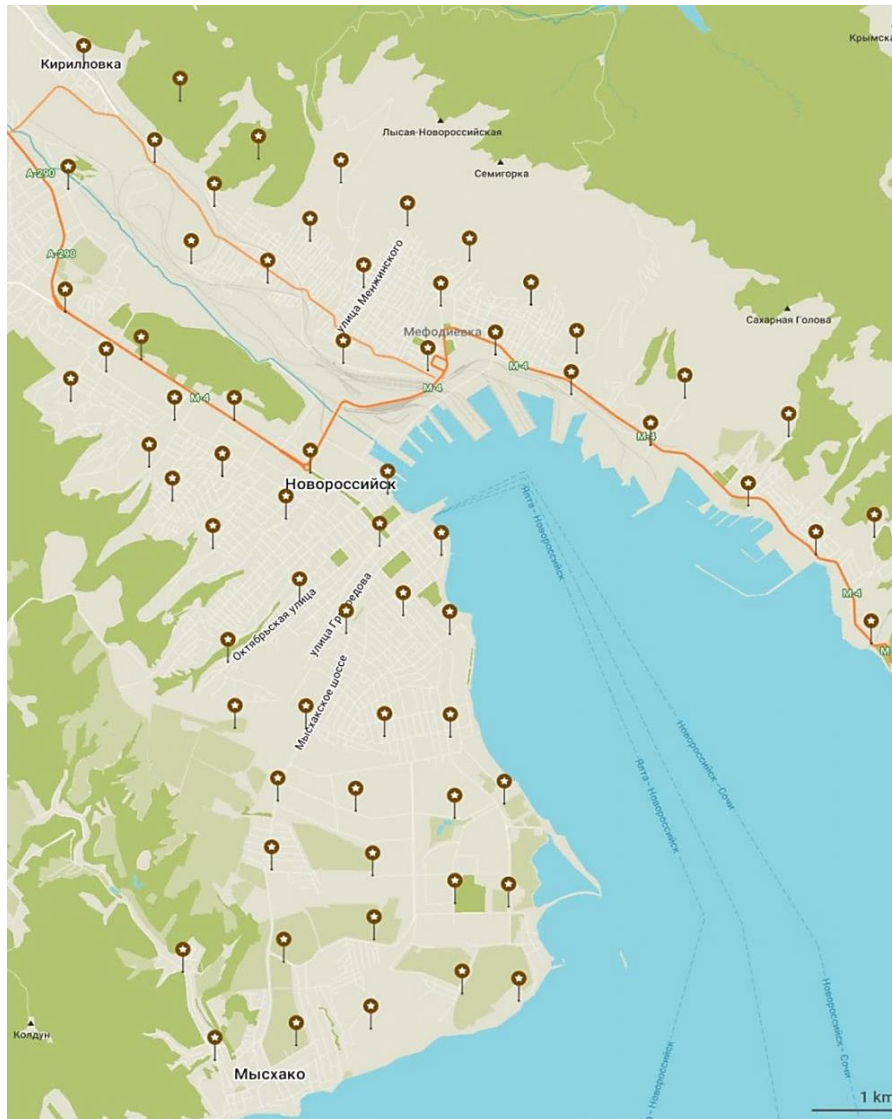


Рис. 2.1. Карта-схема точек опробования территории Новороссийской промышленной агломерации (картографическая основа maps.me)

Изучение поверхностных горизонтов почв осуществлялось по методике «сборной пробы»: на участке площадью приблизительно 10 м² из заложенных закопашек глубиной 0–5 см почва отбиралась не менее трех раз, образцы помещались в один пакет, их общий вес составлял около 3 кг. В лабораторных условиях проводилось перемешивание и осреднение, конечное число образцов почв составило 82.

Использованные для мониторинга макрофиты (зеленые и бурые водоросли) являются наиболее чувствительными к изменению химического состава окружающей среды (Остроумов, Соломонова, 2012). Наиболее распространенными водорослями, применимыми для проведения биогеохимических исследований в прибрежных аквальных ландшафтах Черноморского побережья России (рис. 2.2), являются *Cystoseira barbata* и *Enteromorpha intestinalis* (Бурдин, Золотухина, 1998; Панькова и др., 2015; Тоичкин, Фирсов, 2008).

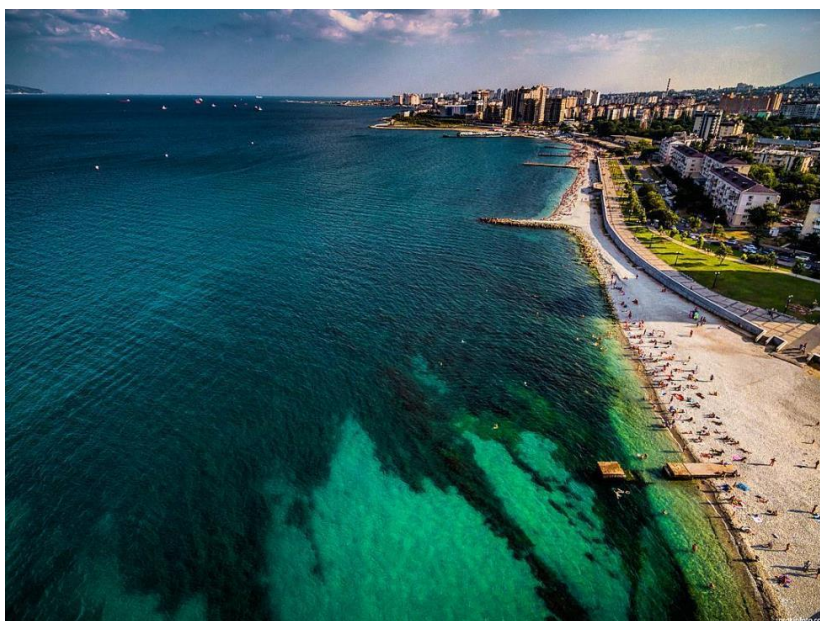


Рис. 2.2. Зоны распространения зеленых водорослей *Enteromorpha intestinalis* и бурых *Cystoseira barbata* в центральной части акватории Новороссийской промышленной агломерации (фото Е. Сорокина)

В аквальных ландшафтах исследованы бурые и зеленые водоросли: энтероморфа (*Enteromorpha intestinalis*) и цистозира (*Cystoseira barbata*), а также падина (*Padina pavonia*). С целью биогеохимической оценки современного состояния Цемесской бухты, в 2009 году проводился отбор 156 проб данных водорослей на 87 точках наблюдения (рис. 2.3). Охвачена вся береговая линия, являющаяся рекреационной зоной (к территории торгового порта доступ закрыт). Непосредственно на месте отбора водоросли тщательно промывались морской водой. С их поверхности удалялся песок, обломки горных пород, раковины. При отборе образцов проводилось описание экологической обстановки как на

суше, так и в аквальных ландшафтах в районе наблюдения (Алексеенко и др., 2011; Опекунова, 2004; Панькова, 2013).



Рис. 2.3. Карта-схема точек опробования акватории Новороссийской промышленной агломерации (на основе космоснимка системы Yandex)

Полевые замеры концентраций пыли в воздухе (фракции PM1, PM2.5, PM4 и PM10 – 1,0, 2,5, 4,0 и 10 мкм) были проведены с применением пылемера DustTrak 8533 («TSI Inc.», США). Измерения выполнялись по прореженной регулярной сетке, совпадающей со схемой опробования почвенного покрова (рис. 2.4). Содержание пыли анализировалось в трехкратной повторности на высоте 1,5 м в 46 точках.

Данный пылемер позволяет проводить измерения массовой концентрации аэрозольных частиц различного происхождения в атмосферном воздухе (табл. 2.1). Принцип работы анализатора – оптический, основанный на регистрации рассеянного излучения. Луч лазера просвечивает ячейку, через которую прокачивается анализируемая воздушная проба. Прямое излучение попадает в световую ловушку, представляющую собой черное тело. Рассеянное аэрозольными частицами излучение регистрируется фотоприемником и преобразуется в электрический сигнал. Интегральное значение интенсивности рассеянного излучения пропорционально концентрации аэрозольных частиц.



Рис. 2.4. Прибор DustTrak 8533 (слева) и фотография замера на пикете ND-01-22, граница Новороссийской промышленной агломерации, перевал на Маркотхском хребте (источники: www.tsi.com и собственная фотография)

Таблица 2.1

Технические характеристики анализаторы запыленности воздуха DustTrak 8533

Параметр или характеристика	Значение характеристики
Объект анализа	Взвешенные частицы диаметром 1 – 10 мкм
Диапазон измерений	0,01–150 мг/м ³
Погрешность измерений	Предел допускаемой основной погрешности ± 20 %
Номинальный объемный расход воздуха	3,0 дм ³ /мин
Принцип работы	Оптический с гелий-неоновым лазером

2.2 Методы лабораторного анализа

В Научно-образовательном центре коллективного пользования (ЦКП) Санкт-Петербургского горного университета проведены лабораторные анализы образцов поверхностных горизонтов почв, включавшие определение концентраций химических элементов, величины рН, а также гранулометрического состава. Подготовка проб заключалась в высушивании их до воздушно-сухого состояния, отборе и удалении крупных включений пород и корней, механическом измельчении почвенных агрегатов, просеивании через сито с отверстиями диаметром 0,25 мм. Для проведения анализа гранулометрического состава во всех пробах почв после просушивания при 60 °С были механически разрушены почвенные агрегаты резиновым пестиком в фарфоровой ступке.

Концентрации 53-х микроэлементов определены методом спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП) в 25 пробах. Для анализа подвижных форм

металлов были предварительно подготовлены вытяжки с применением 1 н. HNO₃ и ацетатно-аммонийного буфера с рН 4,8. Анализы были проведены на оптическом эмиссионном спектрометре параллельного действия с индуктивно-связанной плазмой ICPE-9000 («Shimadzu», Япония), аналитик М.А. Чукаева. Диапазон измеряемых концентраций данного масс-спектрометра составляет 8 порядков, предел обнаружения достигает величины $n \cdot 10^{-7}$ % (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Диапазоны определяемых концентраций химических элементов методом ICP

Определяемые компоненты	Чувствительность анализа, % масс.	Объекты анализа
Se	0,0002 – 1	Силикатные и карбонатные горные породы, почвы, донные отложения, илы
Sc, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Pd, Sn, Ba, La, Au, Pb	0,00001 – 1	
Li, Be, Co, Nb, Rh, Ag, Cd, Sb, Te, Cs, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Hf, Ta, W, Re, Ir, Pt, Hg, Tl, Bi, Th, U	0,00001 – 1	
Ho, Er, Tm, Yb, Lu	0,000001 – 1	

Гранулометрический состав 82 проб почв был определен в ЦКП на лазерном анализаторе распределения размеров частиц LA-950 («Horiba», Япония), аналитик к.г.-м.н. И.М. Гембицкая. Данный метод позволяет проводить определение размеров частиц при помощи детектора-фотоумножителя в диапазоне от 10 нм до 3 мм с погрешностью измерений 0,6 %.

Все рядовые анализы 238 проб почв, цементного сырья и и золы водорослей проводились в аккредитованной лаборатории «Кавказгеолсъёмка», ОАО «Росгеология». В образцах были определены валовые концентрации Cu, Zn, Pb, Ag, Sn, Mo, Ba, Co, Ni, Mn, Ti, V, Cr, Ga, P, Li, Sr, Y, Yb, Nb, Sc и Zr с помощью эмиссионного спектрального анализа. Спектральный анализ методом испарения выполнен на приборе ДФС-8-1 («Спектральная лаборатория», Россия), аналитик Н.Д. Адаховская. Метод дает возможность приближенно-количественного многоэлементного определения в диапазоне содержаний от $n \cdot 10$ % до $n \cdot 10^{-4}$ %.

На базе оборудования ЦКП определялись актуальная кислотность и общее содержание органического углерода. Актуальная кислотность изучена в 85 почвенных пробах потенциометрическим методом (Кречетов, Дианова, 2009) с приготовлением водно-почвенной суспензии, полученной при соотношении массы почвы и объема воды, равном 1:5. Измерения проводились рН-метром Квант с комбинированным рН-электродом с точностью 0,02 ед. рН. В погоризонтно отобранных 17 пробах из почвенных

разрезов определялось общее содержание углерода органических соединений термическим спектральным методом на приборе ТОС («Shimadzu», Япония).

Осуществлялся внутренний лабораторный контроль путем повторного анализа проб, отправляемых под зашифрованными номерами. Количество контрольных проб составило 4 % от их общего числа. После получения результатов анализов сходимость рядовых и контрольных проб сверялась статистически.

2.3 Статистические методы обработки данных

Аналитические данные обрабатывались в программных пакетах Statistica 12 («StatSoft», США) и Excel 2016 («Microsoft», США). По результатам внутрилабораторного контроля, рассчитывалась систематическая погрешность по формуле (2.1):

$$\Delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\lg C_{i1} - \lg C_{i2}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg(C_{i1}/C_{i2}), \quad (2.1)$$

где n – число пар контрольных проб; C_{i1} – результат рядового анализа пробы или первого отбора пробы; C_{i2} – результат контрольного анализа пробы или повторного отбора пробы. Антилогарифм величины систематической погрешности представляет собой систематическое относительное расхождение значений самих концентраций – $\delta_{\text{сист}}$ (2.2):

$$\delta_{\text{сист}} = \text{antlg} \Delta_{\text{сист}}, \quad (2.2)$$

которое показывает, во сколько раз первые результаты анализов систематически больше вторых. Если значение $\delta_{\text{сист}}$ не выходит за пределы 0,9...1,1, то систематической погрешностью анализа можно пренебречь (Инструкция..., 1983). Результаты расчетов приведены в табл. 2.3.

Дальнейшая статистическая обработка включала вычисление средних, средних квадратичных отклонений, коэффициентов вариации, максимальных и минимальных значений и других статистических показателей.

Таблица 2.3

Систематическое относительное расхождение значений концентраций химических элементов методами спектрального приближенно-количественного анализа и спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой

Химический элемент	As	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Ga	Mo	Ni	Pb	Sb	Sn	Sr	V	W	Zn
$\delta_{\text{сист}}$	0,9	1,0	1,0	0,6	0,6	1,0	0,9	1,0	1,1	1,1	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,1

2.4 Методика эколого-геохимической оценки состояния окружающей среды

Геохимический метод обработки данных включал в себя расчет геохимических показателей и коэффициентов (Перельман, Касимов, 1999). Для почв были рассчитаны

коэффициенты КК (кларки концентрации) и КР (кларки рассеяния) химических элементов (2.3):

$$KK = \frac{C_n}{K_l}; \quad KR = \frac{K_l}{C_n}, \quad (2.3)$$

где C_n – содержание элемента в почвах техногенных ландшафтов; K_l – кларк литосферы или кларк осадочных пород.

Также были рассчитаны коэффициенты концентрации K_c (2.4):

$$K_c = \frac{C_n}{C_\phi}, \quad (2.4)$$

где C_ϕ – содержание элемента в ненарушенных (фоновых) почвах. Расчет производился по техногенным ландшафтам и в целом по территории исследования. Показатель K_c показывает, насколько почвы промышленной агломерации загрязнены по сравнению с фоновыми, то есть характеризует поступление загрязняющих элементов в результате совокупного техногенного воздействия. В роли критериального уровня может выступать либо геохимический фон, либо норматив, задаваемый условиями задачи. Было выполнено сравнение с фоновыми концентрациями и с кларками литосферы, а также с кларками осадочных пород и городских почв. Кларки неоднократно рассчитывались многими исследователями, и их значения для некоторых элементов заметно варьируют. Во избежание выводов об аномальности уровней содержания химических элементов в почвах района использованы кларки разных авторов.

При эколого-геохимической оценке окружающей среды наряду с отдельными химическими элементами проводится анализ распределения ассоциаций химических элементов. Ассоциация химических элементов – группа элементов, обнаруживаемая в изучаемом объекте в количестве, отличном от критериального уровня (Сае́т и др., 1990). С помощью анализа в пакете Statistica охарактеризованы корреляционные связи между выявленными геохимическими аномалиями (Касимов и др., 2011).

Общую полиэлементную нагрузку на почвенный покров (Сае́т и др., 1990) отражает суммарный показатель загрязнения Z_c (2.5):

$$Z_c = \sum_1^n K_c - (n - 1), \quad (2.5)$$

где n – количество химических элементов с $K_c > 1,3$.

Интегральный показатель загрязнения (ИПЗ) вычислялся относительно K_l – кларка литосферы с учетом токсичности поллютантов (2.6):

$$ИПЗ = \sum (KK \times K_T) - (n - 1), \quad (2.6)$$

где n – число элементов с $KK > 1,3$, рассчитанным по предложению Н.С. Касимова и Д.В. Власова (Касимов, Власов, 2015) относительно кларков верхней части

континентальной земной коры различных авторов: для Mo и Ba – кларк Р.Л. Рудник, С. Гао (Rudnick, Gao, 2003), Bi, Co, Cu и V – Ж. Ху, С. Гао (Hu, Gao, 2008), Sn – К.Х. Ведеполь (Wedepohl, 1995), As, Cr, Ni, Pb, Sr, W и Zn – Н.А. Григорьева (Григорьев, 2009); K_T – коэффициент токсичности: для элементов I класса опасности (табл. 2.4) равен 1,5; II – 1,0; III и не имеющих класса – 0,5 (Методические..., 1999).

Таблица 2.4

Классы опасности и коэффициенты токсичности химических элементов

Химический элемент	Класс опасности	Коэффициент токсичности
As	2	1,0
Bi	2	1,0
Cd	2	1,0
Co	2	1,0
Cr ³⁺	3	0,5
Cr ⁶⁺	3	0,5
Cu	3	0,5
Li	2	1,0
Mo	2	1,0
Ni	3	0,5
Pb	2	1,0
Sb	2	1,0
Sr ²⁺	2	1,0
V	3	0,5
W	2	1,0
Zn ²⁺	3	0,5
Ba ²⁺	2	1,0
Mn	3	0,5

Два обобщающих показателя загрязнения, Z_c и ИПЗ, применялись в связи с изучением агломерации горнопромышленных и селитебных ландшафтов, где проявляются перекрывающиеся полиэлементные геохимические аномалии (Alekseenko et al., 2017b). Показатель Z_c необходим для характеристики аккумуляции загрязняющих элементов почвами под воздействием техногенеза, тогда как ИПЗ дает возможность определить экологическую опасность их повышенных содержаний (Тимофеев и др., 2014). С этой целью при расчете ИПЗ в качестве эталона использовались мировые кларки, а не местный фон с концентрациями элементов, в некоторых случаях превышающими санитарно-гигиенические нормативы. Как значения Z_c , так и ИПЗ для почв ранжировались по уровням опасности загрязнения территории (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Уровни загрязнения компонентов ландшафта ТМ и соответствующие им градации экологической опасности (Геохимия..., 1990)

Уровни загрязнения и экологической опасности	Суммарные и интегральные показатели загрязнения почв
Низкий, неопасный	< 16
Средний, умеренно-опасный	16–32
Высокий, опасный	32–64
Очень высокий, очень опасный	64–128
Максимальный, чрезвычайно опасный	> 128

Экологическая опасность загрязнения почв и атмосферного воздуха рассчитывалась относительно гигиенических нормативов (табл. 2.6, 2.7 и 2.8) – предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК). При равномерной сети опробования процент площади загрязненных почв определялся как число точек с превышением ПДК по отдельным элементам, отнесенное к общему количеству точек опробования на территории промышленной агломерации (Методические..., 1982).

Таблица 2.6

Предельно допустимые концентрации (ПДК, мг/кг) ряда химических элементов в почвах (ГН 2.1.7.2041-06)

Наименование вещества	Величина ПДК
V	150
As	2,0
Hg	2,1
Pb	32

Таблица 2.7

Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК, мг/кг) ряда химических элементов для суглинистых и глинистых почв с нейтральной и близкой к нейтральной реакцией среды (ГН 2.1.7.2042-06)

Наименование вещества	Величина ОДК
Cd	2
Cu	132
As	10
Ni	80
Pb	130
Zn	220

Таблица 2.8

Предельно допустимые концентрации (ПДК, мг/м³) взвешенных веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений (ГН 2.1.6.3492-17)

Наименование вещества	Величина ПДК		Класс опасности
	максимальная разовая	среднесуточная	
Взвешенные	0,50	0,15	3

вещества ^{а)}			
Взвешенные частицы PM10 ^{б)}	0,30	0,06 ^{в)}	-
Взвешенные частицы PM2.5 ^{г)}	0,16	0,035 ^{д)}	-

Примечания к таблице:

а) Недифференцированная по составу пыль (аэрозоль), содержащаяся в воздухе населенных пунктов, ПДК взвешенных веществ не распространяются на аэрозоли органических и неорганических соединений (металлов, их солей, пластмасс, биологических, лекарственных препаратов и др.), для которых устанавливаются соответствующие ПДК; б) среднегодовая концентрация – 0,04 мг/м³; в) 99 перцентиль; г) среднегодовая концентрация – 0,025 мг/м³; д) 99 перцентиль.

Картографическая обработка выполнена в программном пакете ArcGIS 10.0. Для составления ландшафтной схемы территории и карты функционального зонирования были использованы полевые материалы, полученные при прохождении рекогносцировочных маршрутов и при описании ключевых участков и точек опробования в ходе работ 2014 и 2015 гг., геологическая карта, цифровая модель рельефа по данным ДЗЗ «Global Mapper», космические снимки системы Birds Eye из базы данных Sas Planet, космические снимки Google Earth, а также литературные материалы. Почвенно-геохимическое картографирование выполнено методом обратно взвешенных расстояний (ОВР / IDW) на основе результатов химико-аналитических работ. Для предотвращения эффекта искажения в краевых частях построенных карт концентраций химических элементов были вручную скорректированы направления горизонталей.

Моделирование ореолов рассеяния взвешенных веществ в районе расположения отвалов вскрышных пород и некондиционного мергеля проведено с использованием унифицированной программы расчета загрязнения атмосферы Эколог 3.0 («Интеграл», Россия).

2.5 Выводы

Проведенные с учетом местных ландшафтно-геохимических условий комплексные работы, включавшие полевые изыскания, определения физико-химических параметров образцов в аккредитованных лабораториях (табл. 2.9; результаты анализов приведены в приложениях А–Ж), внутренний и внешний контроль правильности и точности анализов, статистическую обработку данных и эколого-геохимическую интерпретацию полученных результатов являются основой для определения степени экологической опасности техногенно нарушенных территорий Новороссийской промышленной агломерации.

Проведенные аналитические работы

Вид анализа Объект анализа	ИСП, валовые содержания и подвижные формы элементов	Спектральный, валовые содержания элементов	pH	Содержание С _{орг.}	Гранулометрический состав	Концентрация фракций 1,0 – 10,0 мкм
Образцы цементного сырья и пыли	-	9 проб	-	-	-	-
Поверхн. горизонты почв и отвалов	21 проба	65 проб	65 проб	-	65 проб	-
Почвенные разрезы	4 пробы	17 проб	17 проб	17 проб	17 проб	-
Водоросли, 3 вида	-	156 проб	-	-	-	-
Пыль в атмосферном воздухе	-	-	-	-	-	46×3 замеров
Общее количество	25 проб	238 проб	82 пробы	17 проб	82 пробы	138 замеров

Значительный объем лабораторных исследований – свыше 6000 химико-аналитических определений – позволяет говорить о достоверности и обоснованности сделанных на их основе выводов и рекомендаций в области инженерной защиты окружающей среды.

Глава 3 Оценка состояния окружающей среды

3.1 Техногенная нагрузка на ландшафты

Воздействие деятельности человека на окружающую среду Новороссийской агломерации происходит, в первую очередь, при эмиссии загрязняющих веществ совокупностью источников, характерных для большинства не только промышленных, но и селитебных ландшафтов. Общегеохимические закономерности, отразившиеся на процессах накопления поллютантов компонентами окружающей среды в г. Новороссийске, характерны подавляющему большинству городских территорий и имеют ряд особенностей.

Геохимические исследования города рассматривают сложные взаимодействия химических элементов и их соединений в селитебных ландшафтах, влияние на них прошлой и настоящей деятельности человека и промышленности, а также более или менее сильное влияние геохимических процессов на состояние растений и здоровье животных и человека (Авессаломова, 1986; Алексеенко, 2017б; Касимов, 2013; Thornton, 1991). Таким образом, геохимия города принципиально отличается от общей геохимии (Вернадский, 1994; Перельман, 1989) рассмотрением сложной инфраструктуры и интенсивной человеческой деятельности в населенных пунктах. Доля городского населения резко возросла во всем мире за прошедшее столетие. По оценкам экспертов ООН, к 2050-му году в городах в общей сложности будут проживать 6,3 миллиарда человек, что на 75 % выше числа горожан в 2010-м году (United Nations, 2015). В силу этого, ученые, исследующие геохимические условия и потоки в городских ландшафтах, сталкиваются с особыми задачами (Пашкевич и др., 2010; Lyons, Harmon, 2012). Основная часть геохимиков, решающих задачи наук о Земле, долгое время опускала руки перед изучением затронутых человеком биогеохимических процессов, скорость и масштабы которых значительно отличают городскую среду от природной. Но за последние двадцать лет геохимики стали чаще обращать внимание на биогеохимические изменения, вызываемые урбанизацией. Применение методов биогеохимии в изучении созданных человеком ландшафтов позволяет выявить источники, пути миграции и трансформации химических соединений, описать их поведение и влияние на здоровье человека и состояние экосистем в городских условиях.

Общие геохимические особенности городских ландшафтов отражают состав литосферы, основу которой составляют силикаты и карбонаты, что связано с преимущественным использованием сырья природного происхождения. Однако важнейшие городские геохимические условия отличаются от природных следующими чертами: 1) естественные материалы химически и физически изменены для придания им

свойств, необходимых в городском строительстве и технологических процессах; 2) разнородные смеси природного и искусственного сырья находятся на ограниченном участке земной поверхности; 3) вещества мгновенно оказываются в новых условиях окружающей среды (на земной поверхности), разрушаясь силами природы (выветриванием под действием ветра, воды и ультрафиолетового излучения) и человека (напр., сжигания); 4) многие привносимые в городскую среду элементы и химические соединения накапливаются в концентрациях на порядки выше естественных (напр., свинец) или не встречаются в природе (напр., полихлорированные бифенилы – ПХБ). В итоге, на городские геохимические циклы действуют и вносимые чужеродные материалы (напр., бетон, рафинированные металлы, сплавы), и такие попадающие в окружающую среду из антропогенных источников элементы и соединения как металлы платиновой группы, фармацевтические препараты, пестициды (Бузмаков, 2012; Kolpin et al., 2004; de Vos et al., 2002), меняющие состав воздуха, почв и вод в городских ландшафтах.

Основное внимание в городских геохимических исследованиях уделяется:

– воздействующим на городские экосистемы биогенным элементам питания, таким как углерод, азот или фосфор (Bettez, Groffman, 2012; Divers et al., 2013; Duan et al., 2012; Janke et al., 2014),

– влияющим на здоровье человека при одновременном и постоянном попадании в организм соединениям, таким как рассеянные металлы (Пашкевич, 2007; Ajmone-Marsan, Biasioli, 2010; Gallagher et al., 2011; Pouyat et al., 2008),

– органическим соединениям (Добровольский, 2003; Augusto et al., 2011; Kannan et al., 2005; Tabor et al., 2014).

Как известно, растущий город использует земли, что может привести к их устойчивому загрязнению, выявляемому только спустя некоторое время. Изучение унаследованного загрязнения дает представление о том, как нивелировать или устранить пагубное воздействие накопленных веществ на человека и экосистемы. Таким образом, наряду с прогнозированием экологического ущерба, ретроспективная и текущая оценки техногенного воздействия на окружающую среду представляются важными направлениями городских геохимических исследований.

Изучение геохимии города – настоящая междисциплинарная научная работа, требующая совместных усилий геохимиков, экологов, инженеров, медиков, метеорологов, урбанистов, микробиологов, гидрологов, почвоведов, садоводов, географов, политологов и социологов для понимания и решения настоящих и будущих биогеохимических проблем городских территорий.

3.1.1 Геохимические процессы в городских ландшафтах

Каждый населенный пункт отличается геохимическими условиями не только от природных ландшафтов, но и от других городов из-за индивидуальной истории развития каждого из них. Под геохимическими условиями подразумевается поведение искусственных соединений (таких как ПХБ) и элементов, поступающих из горных пород и живого вещества.

Утверждая, что все города схожи некоторыми условиями формирования ландшафтов, возможно описать общие черты окружающей среды в населенных пунктах. Исследования должны как выявлять объединяющие все поселения геохимические характеристики, так и отыскивать своеобразные черты, присущие конкретному городу или его району. Ниже описаны основные компоненты техногенной окружающей среды и деятельность человека, формирующая геохимические особенности города.

Геохимические черты города обусловлены не только техногенным нарушением ландшафтов, но и привнесением чужеродных веществ при строительстве и износе объектов инфраструктуры.

В постройке дорог, зданий, опорных конструкций и других сооружений используются известняк, гипс, каменная соль и другие породы размерностью от гравия до валунов. Используемые в строительстве переработанные природные материалы состоят в основном из силикатов, карбонатов и рудных минералов. Бетон, один из самых распространенных в мире строительных материалов, изготавливается на основе богатого кремнием и кальцием цементного вяжущего вещества с разнообразными добавками, в том числе зольной пылью и природными примесями. Разрушающиеся сооружения могут быть важнейшими источниками растворенных продуктов выветривания в водотоках города. К примеру, при растворении цемента и выщелачивании извести растет содержание кальция и бикарбоната в городских водных потоках и отложениях (Barnes, Raymond, 2009). В градостроении используют также материалы на основе кремния (кирпич, строительный камень, кровельная черепица) и карбонатов кальция (известняк, мрамор). Для трубопроводов, кабелей и кровли требуются чистые металлы или сплавы меди, свинца и цинка. Алюминий и сталь (железо-углеродные сплавы) широко применяются в конструкциях зданий, транспортных средств и водопроводно-канализационных систем. Множество прочих металлов используется из-за их особых свойств (провода, трубы, защитные покрытия из меди) или добавляется как примесь в стройматериалы. Кроме того, в городских ландшафтах распространены органические полимеры – древесина и продукты нефтехимии (такие как асфальт или пластик). Наконец, использование органических и

неорганических наноматериалов в бесчисленных производственных целях ведет к возможному накоплению этих веществ в воздухе, почвах и водах густонаселенных территорий. Чтобы описать источники и потоки вещества и понять роль местных геологических условий в формировании геохимического облика территории, нередко требуется многоэлементный анализ (Ильин, Сысо, 2001), в том числе изотопный (Chetelat et al., 2009; Jiang, 2012; Vystavna et al., 2012). Не менее важна и количественная оценка миграции и трансформации химических элементов, например, методами массового баланса или моделирования распределения источников (Бузмаков, 2012; Kaye et al., 2006; Teixeira et al., 2015). К некоторым процессам и видам деятельности, определяющим геохимические особенности населенных пунктов, относятся износ объектов инфраструктуры, сжигание ископаемого топлива в городской черте, ливневый сток, сбросы очищенных и необработанных промышленных сточных вод.

Вещества, попадая в окружающую среду при износе городских построек, меняют ее химический состав и снижают качество атмосферного воздуха, почв и вод. Ржавление сплавов и выщелачивание соединений из строительных материалов привносят в городскую среду потенциально опасные для здоровья человека металлы. К примеру, Zn и Pb легко выщелачиваются из таких используемых в строительстве материалов как кирпич, свинцовая карбонатная краска, бетон, оцинкованный металл (Davis et al., 2001). Вдоль автодорог особо отмечается загрязнение металлами: Pb и Mn поступают из выхлопных газов, Cu – при истирании тормозов, Zn и Cd – при износе шин, V, Se, Ni и Cr – при коррозии сварных металлических покрытий, Cd, Cu, V, Zn и Mo – возможно, при сжигании смазочных масел (Алексеев, 2000; Ressler et al., 2000; Yesilonis et al., 2008). Все больший интерес вызывает связанное с каталитическими преобразователями поступление в окружающую среду таких элементов платиновой группы как Pt, Pd и Rh (Dubielła-Jackowska, Namieśnik, 2009; Neira et al., 2015). В табл. 3.1 обобщены сведения о некоторых распространенных химических элементах и соединениях, попадающих в городские ландшафты, и их возможных источниках. Хотя этот перечень и достаточно подробен, в нем перечислены не все потенциальные пути попадания элементов и соединений в городскую окружающую среду.

Результаты все большего числа исследований показывают рост щелочности и, зачастую, концентраций Ca в городских водотоках, даже при отсутствии размываемых коренных карбонатных пород. В условиях отсутствия естественных карбонатов, ключевым источником повышения содержаний Ca и щелочности в городских водах может быть бетон (Максимович, Хайрулина, 2011; Kaushal et al., 2014; Tippler et al., 2014; Wright et al., 2011). Высокие концентрации Ca в прибрежных отложениях (возможно, связанные с

присутствием бетона) являются будущими источниками вымываемого городскими водотоками кальция и роста щелочности. Повышенные содержания Са и щелочность могут также быть обусловлены химическим выветриванием городских почв. Этот процесс может происходить под воздействием образовавшихся при сжигании ископаемого топлива серной и азотной кислот, повышенных концентраций CO₂ в воздухе, или окислении вносимых в городские газоны удобрений, содержащих NH₄. Ускоренный износ сооружений приводит к развитию т.н. «городского карста» (Kaushal et al., 2014). В водосборных зонах города также относительно высоки содержания кремния (Carey, Fulweiler, 2012; Peters, 2009), но данных об этом недостаточно. Не до конца ясно, как меняющиеся концентрации перечисленных ионов и кремния влияют на водные экосистемы, но во многих случаях вероятно пагубное воздействие.

Таблица 3.1

Основные техногенные источники поступления химических элементов и соединений в городские ландшафты

Химические элементы	Основные источники поступления
Ag	Ювелирные изделия; антимикробные агенты, используемые в волокнах, системах очистки воды, медицинском оборудовании (Silvestry-Rodriguez et al., 2007)
Al	Наружная облицовка зданий; автомобили; коагулянты для обработки питьевой воды (Bray, 2015; Pikaar et al., 2014)
As	Прессованная древесина; пестициды (Agency..., 2007)
B	Стекловолокно; чистящие средства (Butterwick et al., 1989)
Br	Огнезащитные материалы; пестициды; присадки к бензину (Алексеев, 2017б; Flury, Papritz, 1993)
Ca	Строительные материалы, напр., бетон, цемент, гипсокартон, карбонатный камень (Добровольский, 2003; Cevik et al., 2011; Tippler et al., 2014; Wright et al., 2011)
Cd	Перезаряжаемые батарейки; красители и покрытия; наружная облицовка зданий; фотоэлементы (Davis et al., 2001; Tolcin, 2013)
Ce, Ni, V	Сварные металлические покрытия (Ward, 1990)
Cl	Дорожная соль; отходы водоочистных сооружений (Касимов, 2013; Corsi et al., 2015; Kaushal et al., 2005; Moore et al., 2013; Steele, Aitkenhead-Peterson, 2011)
Cr	Сварные металлические покрытия; желтая дорожная краска (хромат свинца); консервант для древесины; пестициды (Kemsley, 2010)
Cu	Тормозные колодки; наружная облицовка и кровля зданий; электрическая проводка; вулканизация труб поливинилхлоридом (ПВХ); прессованная древесина; пестициды (Мотузова, Безуглова, 2007; Davis et al., 2001; Edelstein, 2013; Wicke et al., 2014)
F	Добавки к питьевой воде
Fe	Сталь, используемая в строительстве зданий; автомобильные запчасти

Продолжение таблицы 3.1

Gd	Контрастные агенты магнитно-резонансной томографии (Telgmann et al., 2013)
HCO ₃ ⁻	Бетон, цемент, карбонатные строительные материалы (Tippler et al., 2014; Wright et al., 2011)
Hg	Угольные энергетические установки; мусоросжигательные установки; компактные флуоресцентные лампы; батареи таблеточного типа (Cheng, Hu, 2012; Nriagu, Расуна, 1988)
Li	Фармацевтические препараты, напр., от биполярного расстройства – маниакально-депрессивного психоза (Barber et al., 2006)
Mn	Автомобильные выхлопы; выбросы электростанций и производства стали; мусоросжигательные установки (Орехова, Осинцев, 2016; Lytle et al., 1995; Nriagu, Расуна, 1988)
N	Сжигаемое ископаемое топливо; бытовые и промышленные сточные воды; удобрения (Пашкевич и др., 2010; Divers et al., 2013; Heatwole, McCray, 2007; Kaye et al., 2006)
Na	Дорожная соль; отходы водоочистных сооружений (Кошелева и др., 2014; Kaushal et al., 2005; Moore et al., 2013; Steele, Aitkenhead-Peterson, 2011)
P	Удобрения; стиральный порошок; бытовые сточные воды; пищевые отходы (Filippelli, 2008; Kalmykova et al., 2012)
Pb	Краски; этилированный бензин; трубы и пайки; автомобильные аккумуляторы; сжигаемые городские отходы; производство цемента (Алексеев, 2015в; Cloquet et al., 2006; Davis et al., 2001; Guberman, 2013; Wang et al., 2000)
S	Электростанции, работающие на ископаемом топливе; гипсокартон; коагулянты для обработки питьевой воды (Мотузова, Безуглова, 2007; Cevik et al., 2011; Pikaar et al., 2014)
Si	Силикатные строительные материалы, напр., глина, песчаник (Cevik et al., 2011)
Zn	Оцинкованная сталь (напр., трубы, кульверты, кровля); кирпичи; шины; вулканизация труб ПВХ; сжигание отходов; автомобильные выхлопы (Кошелева и др., 2014; Cloquet et al., 2006; Davis et al., 2001; Golding, 2006; Tolcin, 2014; Wicke et al., 2014)
Металлы платиновой группы	Каталитические преобразователи (de Vos et al., 2002)
Редкоземельные элементы	Разнообразные технологические приложения, включая катализаторы, металлические сплавы, батареи, освещение, фармацевтические препараты и другие медицинские средства (Gambogi, 2014; Moller et al., 2002)

Сильнее всего на состав городского воздуха влияет сжигание ископаемого топлива. Как точечные источники выбросов (напр., дымовые промышленные трубы), так и подвижные (напр., автотранспорт) привносят в воздушный бассейн города парниковые газы, органические частицы и тяжелые металлы, что не свойственно природным ландшафтам. За исключением Pb, металлы главным образом попадают в окружающую среду из стационарных источников (Rauch, Расуна, 2009). Попавшие в атмосферу

соединения впоследствии оседают на поверхность почвы, где задерживаются на неопределенное время. Хотя загрязнение воздуха и снизилось в некоторых регионах благодаря природоохранному законодательству и меняющимся промышленным технологиям, верхние горизонты почвы хранят память об оседавших ранее загрязняющих веществах.

Первоначально, геохимические исследования города были посвящены загрязненным почвам, до сих пор представляющим немалый интерес, отраженный в десятках тысяч публикаций на эту тему. Такие загрязняющие вещества как тяжелые металлы (напр., Pb, Cd, As), стойкие органические загрязнители (напр., ПХБ, полициклические ароматические углеводороды – ПАУ) и тонкодисперсные частицы (в особенности, размером менее 2,5 мкм – PM_{2.5}) попадают в почву практически из тех же источников, что и в воздух и в воду: коренные породы, автотранспорт, горнодобывающие предприятия, пыль, заброшенные промзоны, изнашивающиеся сооружения (напр., дороги и здания), выбросы предприятий (напр., при сжигании ископаемого топлива, производстве стали, цинка, металлических покрытий) (Алексеенко, Алексеенко, 2013; Meuser, 2010; Guagliardi et al., 2012; Almeida et al., 2015).

Растворенные и взвешенные вещества попадают в городские водотоки с поверхностным стоком, при утечках канализации и прямых сбросах стоков, из подземных вод. Химический состав городского поверхностного стока определяется веществами, связанными с водоупорными поверхностями или оседающими на них, такими как тяжелые металлы и дорожная противообледенительная соль (Касимов, 2013; Kaushal et al., 2005; Turer et al., 2001). Для городских ландшафтов вне зависимости от геологических и климатических условий типичны повышенные содержания Cl, и в отдельных случаях они могут достигать опасных уровней (Gallagher et al., 2011). Поскольку наиболее распространенным противогололедным реагентом является галит, концентрации Na тоже, как правило, растут и могут ухудшить состояние окружающей среды, вытесняя элементы питания (Ca, Mg, K) из состава почвенного поглощающего комплекса.

Несмотря на хорошую изученность воздействия урбанизации на гидрологические и биогеохимические циклы водных потоков (Fitzpatrick et al., 2007; McElmurry et al., 2014), разнообразие и масштабы геохимической трансформации городских рек и ручьев еще предстоит описать. К примеру, деятельность человека может опосредованно влиять на качество воды, снижая экосистемную значимость городского потока. Содержание элементов питания растет в водотоках города не только из-за сбросов сточных вод, но и по причине снизившегося потребления водными организмами. Дж. Мейер с коллегами установили, что чем более урбанизирована территория протекания реки или ручья, тем

ниже будет коэффициент поглощения аммония и фосфата из вод (Meuser et al., 2005). А. Хоуп с коллегами пришли к схожим выводам, а также предположили, что заключение в подземный канал может играть немаловажную роль в формировании биогеохимических свойств водотоков (Hore et al., 2014).

Исследование распределения и переноса осадков, загрязненных городскими сбросами, показало существенные различия для каждого рассеянного металла, что связано с масштабными изменениями гидрологических и геоморфологических условий. Эти физические различия городских водотоков приводят к сортировке отложений и наиболее интенсивному загрязнению, меняющемуся в пространстве и времени. Различия в объемах стока и уменьшение естественного поступления наносов из-за возросшей площади запечатанных твердым покрытием берегов и снизившегося питания грунтовыми водами осложняют перемещение наносов городскими реками.

Во многих населенных пунктах сильные дожди приводят к прямому попаданию сточных вод в реки и ручьи из соединенных с ливневыми стоками канализаций, что резко увеличивает биологическое потребление кислорода (БПК) по всей водной толще и в донных отложениях, представляя непосредственную угрозу здоровью человека. Поверхностный смыв и утечки из канализации могут также загрязнять городские подземные воды различными химикатами, попадающими в почвы, водотоки и донные отложения в результате миграции в растворенной форме. Изношенные протекающие канализационные трубы могут загрязнять нижележащие водоносные горизонты. К примеру, Н. Накада с коллегами обнаружили ряд медицинских препаратов растворенными в водоносном пласте под Токио, а также в реках и эстуариях (Nakada et al., 2008). Авторы утверждают, что концентрация препаратов личной гигиены в воде напрямую зависит от численности населения.

3.1.2 Последствия изменений в геохимических циклах городской среды

Накопленное загрязнение городской среды может сильно различаться по источнику (производившая ранее выбросы промышленность, подземные хранилища, ветшающие постройки, применявшиеся ранее удобрения и пестициды), составу (органические, неорганические, радиоактивные) и временному масштабу (от десятков до тысяч лет) (Бузмаков, 2012; Мотузова, Карпова, 2013; Boutt et al., 2001; Gallagher et al., 2008; Gooddy et al., 2014; Meuser, 2010; Yohn, 2004). Накопленный экологический ущерб проявляется во всех компонентах окружающей среды. К источникам сведений для оценки унаследованного загрязнения относятся исторические данные (описания источников, выбросов, химических соединений) в общедоступной и закрытой литературе, а также

результаты исследования таких природных носителей информации как озерные донные отложения и годовые кольца деревьев. Эти знания помогают выделить участки с наиболее напряженной экологической обстановкой и дать прогноз будущего воздействия на окружающую среду и миграционные потоки.

Чтобы оценить, причиняют ли сопутствующие урбанизации геохимические изменения ущерб окружающей среде и здоровью человека, следует установить, каковы были природные условия до заселения местности людьми. Геологическое строение – коренные горные породы – изменяются незначительно за время существования городов. Таким образом, геологическая характеристика городской территории зачастую может быть получена из современных тематических карт. Геохимические свойства почв меняются более скоротечно, и потому особенно ценны ранние почвенные карты. Хотя ранние поселения занимали меньшую площадь, чем сегодняшние города, они были полностью застроены до начала обязательного научного описания почв, оставляя возможность изучать геохимические тенденции и процессы только по иным носителям информации. Выполненное Н.Е. Кошелевой с коллегами исследование почвенного покрова Восточного округа Москвы (Кошелева и др., 2014) представляет полимасштабный эколого-геохимический анализ, выявивший пространственные особенности поведения тяжелых металлов в городских ландшафтах. Широкодоступные географические информационные системы (ГИС) упростили распространение и графическое представление пространственных данных, став ключевым инструментом анализа истории землепользования в городах. Проведенное Х. Йенсеном с коллегами геохимическое картографирование городских почв также показывает пример того, что требуется делать в других населенных пунктах в будущем (Mapping..., 2011). В их работе поверхностный горизонт почвы (0–2 см) был опробован в густонаселенных норвежских городах Осло, Берген и Тронхейм и проанализирован на содержания ПАУ, которые были отражены на подробных картах с возможностью привязки различных источников выбросов.

Сведения о накопленном загрязнении могут быть также обнаружены на естественных носителях экологической информации, таких как годовые кольца деревьев и донные отложения. Годовой прирост колец деревьев хранит признаки, по которым можно судить о геохимических характеристиках почвенной влаги в период ее поглощения корнями, а также об атмосферных осадениях. Растения с глубокой корневой системой также могут служить источниками данных о геохимии приповерхностных грунтовых вод. Технология масс-спектрометрии с лазерной абляцией и индуктивно связанной плазмой упростила проведение такого дендрохимического анализа, оказавшись особенно

эффективной для определения содержаний рассеянных металлов, в том числе, некоторых изотопов (Novak et al., 2010). Эпифитные лишайники также успешно применяются в качестве природных накопителей информации об атмосферных осадениях (Pashkevich, Petrova, 2015; Bolshunova et al., 2017). Донные отложения городских водотоков, эстуариев, озер, прудов, и даже канализаций могут хранить надежные данные о периодичности сбросов как неорганических, так и органических веществ и являются долгосрочными индикаторами влияния человека на окружающую среду (James, 2013; Yohn et al., 2004).

Исторические сведения об использованных в населенном пункте химических соединениях могут быть необходимы для выявления скрытых источников загрязнения, связанных с городскими сооружениями. Так, донные отложения в канализационных системах превращаются в важный источник поступления тяжелых металлов и стойких органических загрязнителей при взмучивании и выносе в периоды увеличения объемов стока (Gasperi et al., 2008).

3.1.3 Подходы к оценке геохимических характеристик городских ландшафтов

Точные измерения задействованных в биогеохимических циклах соединений с множеством синтетических веществ (как органических, так и неорганических) требуются для оценки степени изменения человеком естественных процессов, протекающих в городских водосборных бассейнах. Развитие атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) в 1970-х гг. с последующим появлением сверхчувствительных методов масс-спектропического и оптического анализов позволяют сегодня достоверно исследовать разнообразные компоненты городской окружающей среды. С возникновением высокоточного лабораторного оборудования, ученые смогли определять чрезвычайно низкие концентрации не анализировавшихся ранее химических соединений. Высокоэффективные масс-спектрометры в сочетании с новейшими способами подготовки образцов (электрораспылительная ионизация, матрично-активированная лазерная десорбция) дали исследователям возможность измерять содержания веществ во всех природных средах. Спектроскопия внутривибронного затухания сделала анализ распространенных изотопов С, Н, О рутинным, недорогим и быстрым, позволяя работать с большим количеством образцов, чем было возможно при использовании традиционного масс-спектрометрического определения изотопного состава. Развитие ультраэффективной жидкостной хроматографии позволило определять концентрации отдельных многосоставных смесей за то же время, что занимала традиционная жидкостная хроматография, но с более высоким разрешением. И хотя это лишь несколько примеров, современные приборы делают возможным определение в разнообразных образцах

содержаний огромного количества веществ, представляющих возможную угрозу для окружающей среды и здоровья человека.

Изучение химического состава городской среды ставит задачи, в меньшей степени актуальные при работах на слабонарушенных территориях. Изменения ландшафтов при укладке непроницаемых покрытий, прокладке канализационных стоков, росте плотности населения и возведении сооружений вынуждают переосмысливать вопросы о том, когда, каким образом и где отбирать образцы. К примеру, такие изменения выражаются в перенаправлении водных потоков из-за снижения объема просачивающихся в почву атмосферных осадков и регулирования поверхностного стока (что может приводить к упомянутому ранее особому загрязнению первых порций ливневых вод). Как следствие, возникает задача выбора мест пробоотбора и количества определяемых геохимических параметров. Непроницаемые поверхности также могут препятствовать отбору образцов, как в случае с убранными под землю водотоками и загрязненными утечками из хранилищ.

Описанные сложности вынуждают исследователей вести более детальные наблюдения и/или отбирать большее число образцов, характеризующих протекающие в городской окружающей среде изменчивые биогеохимические, гидрологические и экологические процессы. Помимо воздействия деятельности человека на окружающую среду самого города, затронутыми оказываются также и прилегающие ландшафты, расположенные «ниже по течению» и испытывающие влияние геохимических потоков. Эти так называемые «городские ореолы» чрезвычайно сильно изменяют окружающую среду в масштабах региона, полушария и даже всего мира (Пашкевич и др., 2010; Diamond, Hodge, 2007). Вещество может выноситься из городских ландшафтов как с водными, так и с воздушными потоками. Анализ состава донных отложений и ледяных кернов показывает явные признаки переноса на большие расстояния продуктов сжигания ископаемого топлива, таких как Pb, Hg, NO₃ и SO₄. Миграция подобных образующихся в городе продуктов жизнедеятельности человека зависит от их физико-химических свойств, в особенности, летучести и растворимости.

Отслеживание динамики процессов с ежегодными, ежесуточными и более частыми измерениями является важным, но, с учетом решаемых задач, оценка пространственного распространения явлений имеет не меньшую актуальность. По мере продолжающегося с годами роста городов, становится необходимым сбор многолетней статистической информации. Разовые опробования отражают конкретный временной срез протекающих в городе процессов, тогда как селитебные ландшафты очень изменчивы и требуют постоянного проведения исследований через короткие промежутки времени. Для решения этой задачи создаются функционирующие автономно датчики, передающие результаты

проводимых *in-situ* замеров в воде (Yang et al., 2013) и воздухе (Piedrahita et al., 2014) практически в режиме реального времени. Чем доступнее в техническом и экономическом планах становятся подобные приборы, тем подробнее можно описать уникальные пространственно-временные особенности протекающих в городских ландшафтах процессов. На сегодняшний день, во многих водосборных бассейнах установлены экономически эффективные и надежные приборы «Sonde», измеряющие основные параметры качества воды (температура, pH, электропроводность, содержание растворенного кислорода) через заданные промежутки времени. Однако при измерении менее широко используемых характеристик качества воды, таких как содержание нитратов, полученные с помощью данных приборов данные оказываются сравнительно дорогостоящими и могут быть менее точными. Многие методы определения основаны на отслеживании изменений оптических характеристик образца или электрохимических свойств с помощью ион-селективных электродов. Установку, использование и техническое обслуживание достаточного для мониторинга городского водосбора количества приборов можно назвать непозволительно дорогими, если оценить научную ценность собираемых данных. Более того, технологии точного измерения других требующихся геохимических характеристик либо не существуют, либо обеспечивают сомнительные результаты (приборы «Sonde» экстраполируют данные оптических определений для оценки иных важных параметров, таких как содержание растворенного органического углерода или биохимическое потребление кислорода). Автоматизированные водоотборники, такие как приборы «Teledyne ISCO», могут применяться для повторяющегося забора проб и последующего определения меняющихся качественных свойств, измерение которых в постоянном режиме затруднено. Такие устройства прекрасно подходят для изучения содержаний веществ, сохраняющихся в воде на протяжении ведущегося сбора образцов и не вступающих в реакции с материалом пробоотборника. Подобные приборы, тем не менее, сравнительно невыгодны экономически и малоэффективны при анализе соединений, активно вступающих в химические реакции. Кроме того, предлагаемые для оценки качества воздуха переносные приборы, определяющие содержание взвешенных частиц и химический состав пылегазовоздушной смеси, являются дорогостоящими и сложными в техническом обслуживании.

Агентство по охране окружающей среды США планомерно делает использование населением недорогих приборов текущего мониторинга более распространенным и эффективным (Chambers et al., 2016). Широкий набор данных о городской окружающей среде действительно может быть собран коллективно при помощи мобильных технологий,

что важно, например, для здравоохранения. Однако для развития и внедрения таких сетей сбора информации потребуются еще годы работы. Поэтому, пока не произойдет прорыв в использовании датчиков, многие быстротекущие эколого-геохимические процессы в городских ландшафтах останутся недоступными для ученых.

Еще одной задачей, возникающей при работе с часто обновляемой информацией, полученной при помощи приборов «Sonde», автоматических водоотборников или дистанционного зондирования (спутников), является передача и хранение крупных массивов данных. Приборы, проводящие измерения через короткие промежутки времени, производят всего за один год настолько огромный объем данных, что необходимы отдельные серверы, хранящие и представляющие в легкодоступном обобщенном виде исходные результаты замеров. Для технического обслуживания, упорядочения и управления большими сложными базами данных может даже потребоваться дополнительный персонал. Наконец, возникают вопросы относительно места размещения датчиков. К примеру, можно ли обеспечить должную защиту станции мониторинга от неблагоприятных погодных условий и распространенной в большинстве городов проблемы вандализма? Застроенная городская территория создает множество преград проведению точных, достоверных и поддающихся интерпретации измерений. Значительных успехов добились разработчики лабораторных приборов, но требуется еще большее развитие технологий портативных датчиков вкупе с ростом вычислительных мощностей для оперирования чрезвычайно крупными массивами данных, полученных этими методами.

Таким образом, оценка техногенной геохимической трансформации городских ландшафтов должна являться комплексным исследованием окружающей среды, основанным на мониторинге сред, наиболее показательно накапливающих загрязняющие вещества – почвенного и растительного покрова. Применение датчиков постоянного наблюдения за экологической обстановкой позволяет дополнить картину последствий техногенеза. В связи с этим, рассмотрение процессов загрязнения наземных и аквальных ландшафтов Новороссийской промышленной агломерации проводилось по результатам лабораторных анализов химического состава образцов почв и водных растений, а также полевых замеров концентрации взвешенных веществ в атмосферном воздухе.

3.1.4 Источники загрязнения ландшафтов Новороссийской промышленной агломерации

С ростом продолжительности и интенсивности строительства в городе увеличивается вероятность формирования геохимического облика, более близкого к

условиям других населенных пунктов, а не природных ландшафтов, существовавших до заселения данной территории человеком. Аналогичным образом, характеристики городских экосистем могут становиться более схожими и однородными, чем до появления городского поселения. Формирующаяся по мере развития города экологическая обстановка отражает историю изменения технологии, экономических условий, природоохранных законов и численности населения. Весьма вероятно, что формируемые зданиями и сооружениями геохимические потоки будут со временем изменяться. Так, при исторической смене используемых в дорожном строительстве материалов с брусчатки на бетон, а затем на асфальт, изменялся состав примесей, попадающих в воду из дорожного полотна (Mahler et al., 2005). Кроме того, кровельные материалы на старых домах (оцинкованная сталь или медь) могут быть источником большего выноса определенных элементов и соединений, чем современные неметаллические аналоги (битумная плитка, кровельная мастика, и пр.) (Wicke et al., 2014). Износ городских построек наряду с ростом населения могут стать причиной резкого усиления потоков элементов питания. Продолжительное функционирование системы сбора и утилизации отходов оказывает значительное влияние на геохимию многих элементов и соединений в городской среде. Наконец, объемы и качество сжигания ископаемого топлива, а также меняющиеся типы и количество автотранспорта, сильно отражаются на геохимических потоках в городе и далеко за его пределами.

Помимо описанных источников поступления загрязняющих веществ, характерных большинству городских поселений, в Новороссийске находится предприятие ОАО «Новоросцемент» – старейший цементный завод и один из крупнейших производителей цемента в России с общей численностью персонала более 3 000 человек (рис. 3.1). Сырьем для производства цемента служит уникальный по своему составу природный мергель, в качестве добавок используются огарки, гипс, опока. Месторождение мергеля постоянно эксплуатируется с 1882 г. Основным видом деятельности завода в настоящее время является производство сульфатостойкого портландцемента марки 400 и марки 500. Среднегодовой выпуск цемента, по данным предприятия, составляет около 500 000 т.

В состав горного цеха предприятия входят карьер (рис. 3.2), два дробильных отделения, промежуточный склад мергеля, промежуточный склад клинкера и полигон нетоксичных производственных отходов. Режим работы горного цеха – круглогодичный. Карьер относится к нагорному типу. Он расположен в центральной части Северо-Западного окончания Кавказского хребта, в зоне главного водораздела и характеризуется среднегорным рельефом. На карьере разрабатывается мергель с различным содержанием

кремния – «высокий» и «натуральный» (с содержанием SiO_2 менее 20 %), «низкий» (с содержанием SiO_2 20–70 %).



Рис. 3.1. Завод ОАО «Новоросцемент», отвалы и прилегающий жилой район города Новороссийска (фото Е. Сорокина)

При разработке пластов проводятся буровые, взрывные и погрузочно-разгрузочные работы. Буровзрывные работы ведутся на 11 добычных уступах, высота уступов составляет 10–20 м. Погрузка в автотранспорт разрыхленной породы осуществляется экскаваторами, взорванная масса при разработке высоких мергелей самосвальным автотранспортом направляется в дробильное отделение. Сырье из карьера подвозится к дробильному отделению и выгружается в бункер щековой дробилки. В дробильном отделении установлен грохот для разделения дробленого мергеля по фракциям. Для гидропылеподавления на внутренней стороне бункера по периметру смонтированы перфорированные трубы, что обеспечивает сокращение выброса пыли на 50 %. Первичное дробление мергеля осуществляется в щековой дробилке с производительностью 440 т/час. Запыленный воздух от щековой дробилки и узла выгрузки дробленого мергеля на транспортер проходит очистку в двухступенчатой аспирационной установке: 1 ступень – циклоны ЦН-15-400х4, 2 ступень – мокрый пылеуловитель ГДП-10М. Суммарная степень

очистки – 99,86 %, остаточная концентрация на выбросе, по данным предприятия, составляет 0,055 г/м³.



Рис. 3.2. Карьер по добыче мергеля ОАО «Новоросцемент» (фото Е. Сорокина)

Вторичное дробление сырья осуществляется в молотковой дробилке, отсос запыленного воздуха происходит через аналогичную двухступенчатую систему очистки с остаточной концентрацией пыли на выбросе в атмосферу 0,048 г/м³. Узел сброса мергеля оснащен мокрым пылеуловителем ПГДН-20, степень очистки – 99,26 %, остаточная концентрация пыли на выбросе, по данным предприятия, составляет 0,049 г/м³.

Осредненные данные о составе производимого цемента и пылевых выбросов завода, а также почв ненарушенных ландшафтов представлены в табл. 3.2, исходные результаты анализов приведены в приложении Г.

В целях захоронения нетоксичных производственных отходов у юго-восточной границы карьера в выработанном участке размещается полигон нетоксичных производственных отходов. На полигоне производится захоронение следующих видов нетоксичных отходов: строительных, опочного камня, галечных, древесных, взвешенных веществ очистных сооружений биологической очистки и осадка уплотненного активного

ила. Доставка отходов на полигон производится автотранспортом. Планировка полигона осуществляется бульдозером или экскаватором. В сухой летний период года в целях пылеподавления ежедневно проводится полив полигона.

Таблица 3.2

Средний химический состав почв ненарушенных территорий (Алексеев и др., 2008а), производимого портландцемента и выбросов предприятия ОАО «Новоросцемент», мг/кг

Объект анализа	Ba	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	Zn
Фоновые почвы	800	21,0	137,0	58,0	52,0	2,6	48,0	42,0	5,1	340,0	143,0	123,0
Портланд-цемент	1200	13,0	86,0	82,0	46,0	2,2	28,0	64,0	3,8	9,0	52,0	170,0
Пылевые выбросы	1000	6,0	60,0	40,0	40,0	2,0	10,0	2000	2,0	5,0	20,0	100,0

Образующиеся при разработке используемых в цементном производстве мергелей, отходы вскрышной породы и некондиционного мергеля с 1960-х гг. транспортировались автосамосвалами и размещались на двух внешних отвалах на склонах Маркотхского хребта (рис. 3.3). Так как мощность плодородного слоя почв составляла менее 10 см, снятие его проводилось валовым способом, без разделения совместно залегающих подстилающих пород и почв.



Рис. 3.3. Отвалы вскрышных пород и некондиционного мергеля на северо-восточных склонах Маркотхского хребта (фото Л. Семеновой)

В общей сложности, территория двух групп отвалов составляет 15 га, они расположены на склоне Маркотхского хребта на высотах 100–150 м над уровнем Цемесской бухты. На данный момент отвальные работы в карьере не ведутся, так как необходимый объем вскрышных пород снят. Внешние породные отвалы карьера относятся к площадным нарушенным территориям, поскольку их длина (L) и ширина (B)

различаются незначительно, $L \approx B$. Согласно классификации нарушенных земель для рекультивации (ГОСТ 17.5.1.02-85) данные насыпные массивы можно отнести к платообразным террасированным высоким и очень высоким внешним отвалам: высота относительно естественной поверхности: 50–100 м, угол откоса уступов до 45°.

В условиях частой повторяемости сильного северо-восточного ветра, ближайшие жилые районы города, находящиеся в 200 м к югу от отвалов испытывают воздействие при пылении насыпных массивов. Пылевыведение происходит в результате выдувания мелких пылевидных фракций с поверхности отвалов. Ореолы рассеяния взвешенных веществ от отвалов вскрышных пород и некондиционного мергеля, построенные с использованием программы «Эколог 3.0», представлены на рис. 3.4.

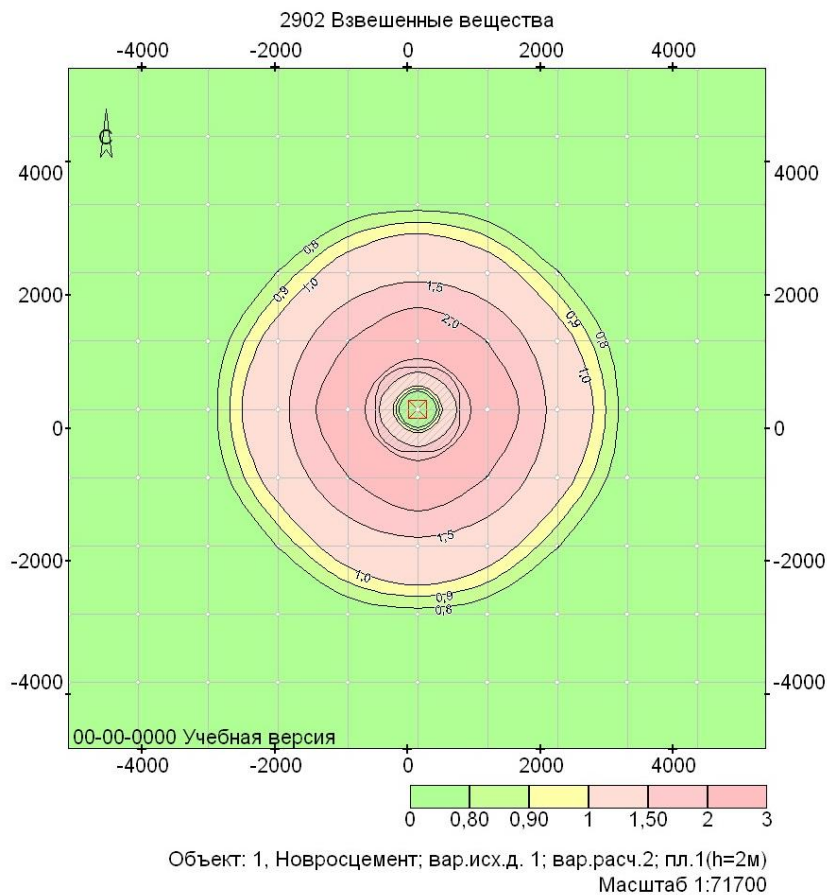


Рис. 3.4. Модель рассеяния взвешенных веществ в районе отвалов в Новороссийской промышленной агломерации

Проведенные расчеты рассеяния показали, что максимальные приземные концентрации загрязняющих веществ от отвалов вскрышных пород и некондиционного мергеля при неблагоприятных метеорологических условиях со скоростью ветра более 10 м/с превышают максимальную разовую ПДК на границе санитарно-защитной зоны в 1,5 раза.

В связи с этим, требуется проведение оценки состояния отвалов, представляющих экологическую угрозу для ландшафтов Новороссийской промышленной агломерации. Характеристики отвалов обусловлены физическими и геохимическими свойствами пород, из которых они сложены. Отвалы представляют собой молодые техногенные почвы, подверженные ветровой и водной эрозии, требующие проведения работ по восстановлению растительности для ускорения процесса почвообразования. Оценка и снижение воздействия отвалов на окружающую среду требуют предварительного описания ряда параметров, к которым относятся состояние гумусового горизонта, показатель рН, запас элементов питания, гранулометрический состав, структура почвы, влажность, плотность, условия роста корней и геоморфологические условия.

3.1.5 Характеристика техногенных отложений отвалов

Экспресс-оценку экологического состояния верхнего почвенного горизонта возможно провести уже по цвету почвы. Так, ярко-рыжие и коричневые цвета отвалов обычно указывают на процессы окисления при свободном доступе кислорода, нередко с пониженными значениями рН, и на большую восприимчивость к физическому выветриванию, чем отложения с более темным цветом. Серые цвета отвалов обычно указывают на отсутствие окисления и выщелачивания, такие почвы характеризуются более высокими значениями рН. Темно-серые и черные породы, содержат значительное количество органических веществ. Темноцветные отвалы могут осложнять проведение рекультивации в летние месяцы ввиду интенсивного поглощения солнечной энергии, ведущего к прогреву и потере влаги (Singh, Singh, 2006). Почвы поверхностного горизонта отвалов в Новороссийской промышленной агломерации имеют светло-серый цвет (рис. 3.5), что указывает на малое содержание органического вещества и позволяет уже по косвенному признаку прогнозировать протекание процесса естественной сукцессии в течение сотен лет. Для точной характеристики экологического состояния отвалов, однако, требуется анализ ряда качественных и количественных индикаторов, позволяющих составить проект рекультивации территории. Успешность рекультивации зависит от ряда рассмотренных ниже физико-химических характеристик отвалов.

Богатый органическими веществами верхний почвенный горизонт используется для покрытия субстрата и обеспечения оптимальных условий культивации растений. Снятие плодородного слоя почвы и его складирование вместе с прочими вскрышными породами при разработке новороссийского месторождения мергеля привело к деградации почв и резкому ухудшению условий обитания как для растений, так и для сообществ микроорганизмов. Экосистемная роль почв значительно снизилась и нарушились циклы

элементов питания, что привело к нефункциональности почвенной системы и невозможности самозарастания отвалов. В основном, это связано с низким содержанием органических веществ и другими неблагоприятными физико-химическими и микробиологическими характеристиками.



Рис. 3.5. Поверхностный горизонт техногенной почвы на отвале в Новороссийской промышленной агломерации (фото автора)

В условиях сухого субтропического климата, с выпадением основного объема атмосферных осадков в зимний период, сохранение качества плодородного горизонта почвы представляется проблематичным. В период дождей, на глубине около 1 м в отвалах увеличивается количество анаэробных бактерий (Сорокин, 2016; Harris et al., 1989; Williamson, Johnson, 1991). Это влияет на геохимический цикл азота, препятствуя нитрификации из-за недостатка свободного кислорода приводя к накоплению аммиака в анаэробных зонах. Если в рекультивируемой почве повышено содержание аммиака, количество образующихся при рыхлении нитратов может резко возрасти. В связи с этим существует высокая вероятность потери азота посредством выщелачивания или денитрификации (Герасимова и др., 2003; Johnson, Williamson, 1994), что может представлять угрозу для водоемов и водотоков. Учитывая долгосрочный период складирования плодородного слоя почв со вскрышными породами и некондиционным мергелем, можно прогнозировать постоянное ухудшение свойств почвы и практически

полную потерю ее биологической продуктивности в перспективе, если не будут проведены мелиоративные мероприятия.

Щелочно-кислотные характеристики отвалов. Показатель кислотности является наиболее часто используемым показателем качества почв. Величина pH поверхностного горизонта техногенных почв на отвалах может быстро изменяться по мере окисления складированных пород. В случае присутствия пирита (FeS_2), при окислении пород образуется серная кислота, и уровень pH резко падает до значений 2,0–3,5 (Шадрунова и др., 2017; Pashkevich, 2017). В случае Новороссийской агломерации, при выветривании пород содержащих карбонатные соединения (Ca/MgCO_3), происходит рост pH. Нейтральные значения pH являются оптимальными для произрастания большей части растительных сообществ. При снижении уровня pH почвы до 5,5, затрудняется рост бобовых и некоторых кормовых видов растений, что происходит из-за токсичного воздействия таких металлов как алюминий и марганец, образования фосфором недоступных для растений соединений и сокращения популяции азотфиксирующих бактерий. В результате ингибируется рост корней и многие метаболические процессы. Исследование pH отвалов показало средние значения 8,6–8,7 в поверхностном горизонте с ростом до уровня 9,2 на глубинах 20–40 см. Данные повышенные значения обусловлены выветриванием мергеля, на 50–75 % состоящего из карбонатов. Таким образом, проведение мелиоративных мероприятий для регулирования щелочно-кислотных условий на изученных отвалах не требуется.

Плодородие техногенных почв отвалов. Органические соединения являются основным носителем запаса питательных веществ в отвалах. Содержание органического углерода более 0,75 % указывает на возможность посадки растений (Maiti, Ghose, 2005). Установленное содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ в поверхностном горизонте отвалов составляет от 0,35 до 1,85 %. Отвалы вскрышных пород характеризуются недостатком трех основных элементов питания растений, а именно азота, фосфора и калия (Андроханов, Курачев, 2009). Кроме того, к числу металлов, необходимых для роста растений, относятся Fe, Mn, Cu и Zn. Эти элементы могут поступать в почву в доступной для растений форме при выветривании горных пород. Рекультивация может считаться экологической устойчивой при следующих концентрациях элементов в почве в форме, доступной для растений: $\text{Fe} > 4,5 \text{ мг/кг}$, $\text{Mn} > 1,0 \text{ мг/кг}$, $\text{Zn} > 1,0 \text{ мг/кг}$ и $\text{Cu} > 0,4 \text{ мг/кг}$ (Barcelo, Poschenrieder, 2003; Schmidt, 2003). Результаты анализов содержаний металлов приведены в табл. 3.3. Аналитически определенные валовые концентрации Fe, Mn, Cu и Zn указывают на

потенциальный запас необходимых для растений металлов (полные результаты элементного анализа приведены в приложении Е).

Таблица 3.3

Среднее валовое содержание Fe, Mn, Cu и Zn в поверхностном горизонте отвалов

Элемент	Fe ₂ O ₃ , %	MnO, %	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг
Среднее содержание	4,35	0,12	281	91

Учитывая значительное содержание крупнообломочного материала и относительно небольшую долю мелкозема в техногенных почвах отвалов, необходим подбор видов травянистых растений, обеспечивающих накопление элементов питания в почве, что позволит ограничить внесение удобрений и создать устойчивую экосистему.

Гранулометрический состав техногенных почв отвалов. Частицы почвы размером менее 2 мм способствуют накоплению почвой воды и питательных веществ. Почвы, состоящие из грубообломочного материала, не могут удерживать достаточное количество воды, доступной для растений, чтобы поддерживать активный рост в течение летних месяцев. Содержание крупных обломков мергеля в верхних 50 см изученных отвалов варьирует от 50 до 70 %. Гранулометрический анализ мелкозема (результаты приведены в приложении Д) показал, что преобладают супесчаные (с содержанием физической глины – частиц с $d < 0,01$ мм – от 10 до 20 %) и легко- и среднесуглинистые фракции (20–30 % и 30–45 %, соответственно). Такое распределение размеров частиц является приемлемым для роста саженцев при рекультивации, поскольку большая доля песчаной фракции не накапливает достаточного объема влаги и питательных веществ, в отличие от суглинков и глин (Брагина, Герасимова, 2014). Чрезмерное содержание физической глины также может затруднять культивацию растений из-за риска образования поверхностных корок. По мере выветривания мергеля, относительная доля тонких фракций возрастает, однако дефляция под действием ветра и эрозия с атмосферными осадками ограничивают накопление мелкозема. Проведенные в исследования в Средиземноморском засушливом регионе, близком по условиям к району г. Новороссийска (Moreno-de las Heras et al., 2008), а также непосредственно на Северо-Западном Кавказе (Alekseenko et al., 2017c) показали, что насыпные массивы с содержанием грубообломочного материала более 50 % имеют слабый потенциал самовосстановления и требуют проведения мелиоративных мероприятий. Таким образом, зарастание отвалов не произошло естественным путем в течение 50 лет вследствие, в том числе, чрезмерной каменистости субстрата. Однако гранулометрический состав мелкозема на пологих площадках отвалов позволяет проводить рекультивацию без дополнительного внесения почвы.

Структура техногенных почв отвалов. Агрегированность контролирует запасы влаги, влияет на степень доступности питательных веществ в почве (Герасимова и др., 2003; Heras, 2009), потенциал эрозии и накопление органического углерода (Зеньков и др., 2014; Six et al., 2004). Происходящее при формировании отвалов уплотнение уменьшает влагоемкость и ухудшает аэрацию. Полевое определение структуры поверхностного горизонта отвалов показало, что преобладают пылеватые (с ребром куба $<0,5$ см) и мелкокомковатые (от 0,5 до 1 см) отдельности. Такое сложение не является устойчивым, вследствие чего отвалы подвержены ветровому развеванию и поверхностному водному смыву. Образование и стабильность почвенных агрегатов зависят от органических веществ и микроорганизмов, участвующих в связывании частиц почвы (Рихванов, 2017; Davies, Younger, 1994). Таким образом, культивация растительных сообществ необходима для улучшения агрегированности почвы, повышающей запасы влаги и элементов питания и препятствующей эрозионным процессам на отвалах.

Влажность и плотность техногенных почв отвалов. В условиях засушливого климата в районе Новороссийска, среднее содержание влаги в поверхностном горизонте отвалов в течение зимнего периода составляет около 5 % и приблизительно 2–3 % в летний период (Казеев, Колесников, 2015), что является недостаточным для роста саженцев (Maiti, 2013). В связи с этим, в первый год после проведения рекультивации будет требоваться дополнительный полив растений.

Применение колесных и гусеничных горных машин приводит к уплотнению насыпных массивов, приобретающих объемную плотность $>1,7$ г/см³ (Пивняк и др., 2011), тогда как плотность продуктивных природных почв обычно колеблется от 1,1 до 1,5 г/см³. Уплотнение рыхлых отложений напрямую ограничивает рост растений, так как большинство видов не могут эффективно распространять корни. Кроме того, снижается объем удерживаемой влаги, необходимой для растений в период засухи, особенно при наличии приповерхностных слабовыветрелых крупнообломочных пород. Уплотненные слои могут также выступать в роли водоупора в период дождей, вызывая перенасыщение влагой и формирование анаэробных глеевых условий в зоне распространения корней. В условиях засушливого причерноморского климата, необходимо наличие рыхлых неуплотненных отложений мощностью не менее одного метра для поддержания водного питания растений в летний период. Измерение плотности поверхностного горизонта техногенных почв отвалов не представляется возможным из-за значительного объема крупнообломочных включений. При проектировании рекультивационных работ, данные условия диктуют необходимость подбора древесных растений, переносящих засушливые

сезоны и имеющих корневую систему, приспособленную к каменистым почвенным субстратам.

Геоморфологические характеристики отвалов. Откосы отвалов на склоне Маркотхского хребта с крутизной более 15° непригодны для интенсивного землепользования, но могут быть пригодны для лесовосстановления и выпаса скота. Широкие выположенные поверхности с уклоном менее 2° могут подвергаться сезонному переувлажнению, что приводит к развитию анаэробных условий и потере азота в результате денитрификации и губительно сказывается на растениях (Корнилов и др., 2014; Davies, Younger, 1994). Кроме того, субгоризонтальные площадки отвалов включают участки скопления валунов, а также ямы и канавы, препятствующие восстановлению растительного покрова. Общая площадь отвалов в Новороссийской промышленной агломерации составляет приблизительно $150\,000\text{ м}^2$, из которых около $105\,000\text{ м}^2$ приходится на склоны крутизной от 15 до 45° , тогда как субгоризонтальные террасы занимают порядка $45\,000\text{ м}^2$. В связи с этим, необходима разработка двух различных проектов рекультивации, учитывающих различающиеся условия осложненного техногенного рельефа.

Таким образом, сформированные в Новороссийской промышленной агломерации отвалы, в основном состоящие из крупных обломков мергеля с примесью рыхлых отложений, лишенных органических и питательных веществ, при отсутствии рекультивации ведут к пылеобразованию и загрязнению окружающей среды, а также являются неустойчивыми, что может представлять угрозу селеобразования.

3.2 Загрязнение ландшафтов промышленной агломерации

3.2.1 Пылевидные твердые частицы в атмосферном воздухе

Попадающие в атмосферный воздух из различных источников жидкие и твердые частицы диаметром от 10^{-9} до 10^{-4} м относятся к группе аэрозолей (Маремуха, Петросян, 2016). Наиболее очевидными примерами аэрозолей в атмосфере являются облака, которые состоят в основном из конденсированной воды с диаметром частиц порядка 10 мкм (Pöschl, 2005). Однако в исследованиях атмосферы термин «аэрозоль» традиционно относится ко взвешенным частицам, состоящим преимущественно из конденсированного вещества, отличного от воды; облака же рассматриваются как отдельные явления.

Атмосферные аэрозольные частицы выделяются в воздух из широкого спектра природных и антропогенных источников. Первичные частицы попадают в воздушную среду в виде жидкостей или твердых веществ при сжигании биомассы и ископаемых

видов топлива, извержениях вулканов, выдувании пыли из поверхностных почвенных горизонтов и рыхлых горных пород, а также в форме морской соли, фрагментов растений, микроорганизмов, пыльцы. Вторичные частицы формируются при взаимодействии газа и частиц в атмосфере и конденсации газообразных веществ (рис. 3.6).

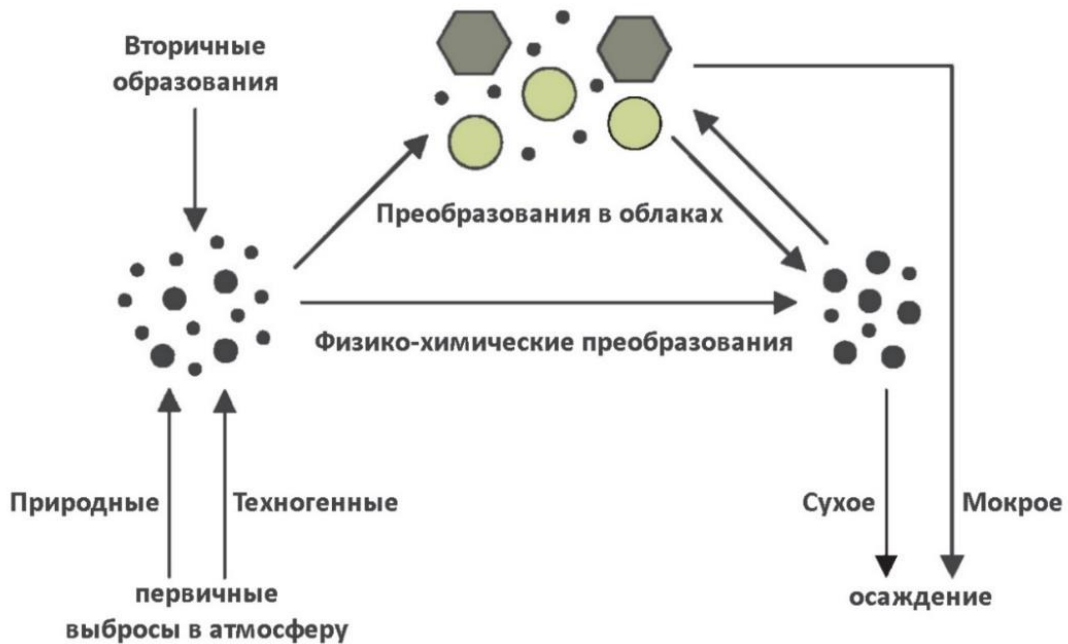


Рис. 3.6. Обобщенная схема цикла миграции аэрозолей в атмосферном воздухе (на основе данных Pöschl, 2005)

Находящиеся в воздухе частицы подвергаются различным физическим и химическим взаимодействиям и преобразованиям, то есть изменениям размера, структуры и состава при коагуляции, реструктуризации, поглощении газов и иных химических реакциях. В зависимости от свойств аэрозоля и метеорологических условий, время пребывания аэрозольных частиц в атмосфере колеблется от часов до недель (Тунакова и др., 2017).

Сухое осаждение твердых частиц с воздушными потоками на земную поверхность менее важно в глобальном масштабе, но может оказывать чрезвычайно сильное воздействие на качество воздуха в городах и промышленных агломерациях, здоровье человека, а также состояние зданий и сооружений (ICRP, 1994).

Концентрация, состав и распределение аэрозолей по размерам существенно варьируют во времени и пространстве (рис. 3.7). В нижней части атмосферы (тропосфере) общее число частиц и массовые концентрации обычно изменяются в пределах примерно 10^2 – 10^5 частиц на 1 см^3 воздуха и 1 – 100 мг/м^3 , соответственно (Raes et al., 2000).

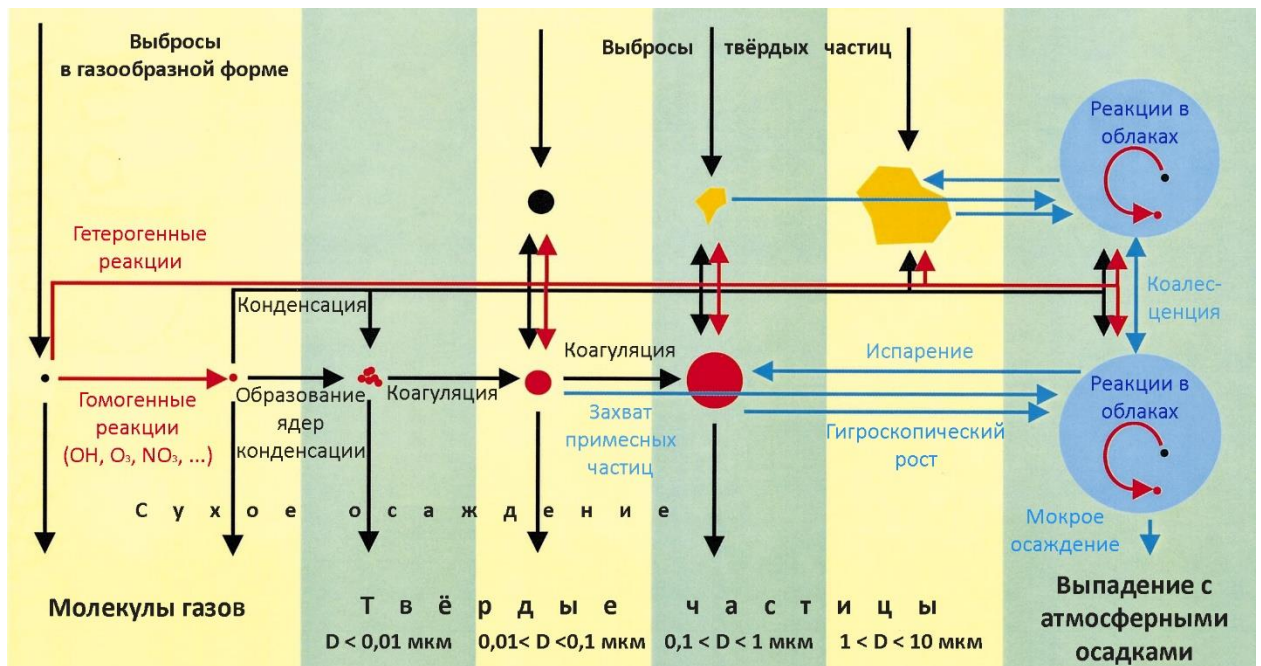


Рис. 3.7. Процессы взаимодействия аэрозолей в атмосферном воздухе (на основе данных Raes et al., 2000)

Преобладающими химическими компонентами частиц являются сульфаты, нитраты, аммоний, морская соль, минеральная пыль, органические соединения и элементарный углерод; на каждый из данных компонентов, как правило, приходится от 10 до 30 % от общей массы. Однако при меняющихся ландшафтных и метеорологических условиях, а также фракциях частиц, относительное обилие тех или иных компонентов пылевой смеси может варьировать на порядок или более (Стреляева и др., 2017). Также изменения могут быть вызваны сезонными эффектами (например, температурной инверсией), со значительным увеличением содержания твердых частиц в холодные месяцы (Buonanno et al., 2013). При одинаковой нагрузке, запыленность воздуха, как правило, в 4 раза выше в течение зимы по сравнению с летним периодом (Fujitani et al., 2012; Pirjola et al., 2006; Sabaliauskas et al., 2012). Помимо первичных веществ, выделяемых непосредственно природными и антропогенными источниками, в воздухе также содержатся вторичные, образованные в результате преобразования газа в частицу или химического превращения первичных частиц в атмосфере.

Основными источниками попадания твердых частиц в атмосферный воздух являются дорожное движение, промышленность, бытовое сжигание топлива, природное ветровое сдувание почвенной пыли и морской соли, а также ряд неустановленных источников загрязнения техногенного происхождения. В зависимости от источника поступления частиц, меняется их химический состав (табл. 3.4).

Пути поступления и состав твердых частиц в атмосферном воздухе

№ п/п	Источники выброса	Важнейшие примеси
1	Дорожное движение	Элементные С, Fe, Ba, Zn, Cu и Pb (Орехова, Осинцев, 2016; Viana et al., 2008), поступают с выхлопными газами двигателей. Cu, Zn, Mn, Sb, Sn, Mo, Ba, Cd и Fe являются маркерами износа тормозов (Amato et al., 2009).
2	Промышленность	Соотношения V, Ni и сульфатов используются в качестве индикаторов сжигания нефти (Мотузова, Безуглова, 2007; Viana et al., 2008). Примеси Sc, Se, Co и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) используются в качестве индикаторов сжигания угля. Металлургическое производство связано с выбросом таких металлов как Cu, Fe, Mn и Zn. Примерами трассеров для неметаллургической промышленности являются As, Pb, Zn, Zr, Tl и Cs в производстве керамических покрытий (Minguillón et al., 2014), а также Cr, Ni и Mo для производства красящих пигментов (Viana et al., 2008).
3	Бытовое сжигание биомассы	Калий использовался как индикатор сжигания биомассы, однако в последнее время заменен более специфическими трассерами, такими как левоглюкозан (Belis et al., 2013).
4	Природная пыль	Пыль состоит из Al, Si, Ca и Fe, преобладающих в природных почвах и породах.
5	Морская соль	Соль представлена соединениями Na, Cl и Mg.
6	Неустановленные техногенные источники	Вторичные неорганические аэрозоли включают сульфаты аммония – NH_4HSO_4 , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ и нитраты аммония и натрия – NH_4NO_3 , NaNO_3 (Пашкевич, 2007; Finlayson-Pitts, Pitts, 2000; Seinfeld, Pandis, 2006). Вторичные органические аэрозоли, в основном, связаны с образованием неметановых летучих органических соединений – окисленных выбросов транспортных средств и промышленного производства электроэнергии.

Дорожное движение – категория источников, которая включает выбросы различных типов транспортных средств. В дополнение к первичной эмиссии выхлопных органических и неорганических газообразных веществ от сжигания топлива, транспортные средства выделяют значительные количества частиц при износе тормозных колодок, сцепления и шин (Amato et al., 2009). Данные выбросы осаждаются на дорожном полотне, а затем вновь оказываются в воздухе в смеси с частицами минеральной пыли и истирающимся дорожным материалом.

Промышленность является многообразной категорией, включающей выбросы от сжигания нефти и угля на электростанциях, и от различных видов производства – металлургического, нефтехимического, керамического, фармацевтического и прочих (Горшков и др., 2014; Velis et al., 2013). Сжигаемое в быту топливо включает древесину, уголь и газ для приготовления пищи и отопления.

Состав частиц, попадающих в атмосферу при естественном выдувании почвенного мелкозема, определяется наиболее распространенными в земной коре и почве элементами. Придорожная пыль может также быть отнесена к этой категории. Несмотря на то, что продукты природной эрозии почв и образующиеся при дорожном движении вещества можно различить по присутствию в их составе таких маркеров как частицы материала тормозов, шин и дорожного полотна, разделение этих двух источников пыли достаточно затруднено. Также вблизи побережья в воздухе повышено содержание частиц морской соли. В континентальных районах эта примесь может находиться в воздухе вследствие ветрового переноса из прибрежных районов или поступления из противологодных смесей (Seinfeld, Pandis, 2006).

В категорию неустановленных техногенных источников в основном входят вторичные частицы, образованные из первичных веществ техногенного происхождения – в основном, продукты механического истирания и углеродистые частицы летучей золы, выделяющиеся при высокотемпературном сжигании ископаемого топлива на электростанциях. Вторичные частицы образуются в атмосфере при реакциях таких первичных газообразных загрязняющих веществ как диоксид азота NO_2 , аммиак NH_3 , диоксид серы SO_2 , неметановые летучие органические соединения. Вторичные частицы могут быть как неорганическими, так и органическими аэрозолями (Вильямсон, 2015; Finlayson-Pitts, Pitts, 2000).

Наиболее важными в экологических исследованиях являются мелкодисперсные твердые частицы (рис. 3.8) с аэродинамическим диаметром ≤ 1 мкм (PM1), $\leq 2,5$ мкм (PM2.5) и ≤ 10 мкм (PM10) (Юсупов и др., 2014; O'Dowd et al., 2002). Согласно принятому в России стандарту, «частицы PM2.5 проходят через селективные по размеру сопла с эффективностью проскока 50 % при аэродинамическом диаметре 2,5 мкм. Частицы PM10 проходят через селективные по размеру сопла с эффективностью проскока 50 % при аэродинамическом диаметре 10 мкм» (ГОСТ Р ИСО 13271-2016). По данным ВОЗ, содержание фракции твердых частиц PM2.5 в воздухе считается в настоящее время лучшим показателем уровня воздействия на окружающую среду (WHO, 2014). При многолетнем вдыхании воздуха с высоким содержанием частиц диаметром менее 2,5 мкм с альвеолярным осаждением в организме человека (Намазбаева и др., 2013), отмечено

прогрессирование ряда заболеваний, что приводит к среднему сокращению ожидаемой продолжительности жизни приблизительно на 1 год (Defra, 2008).



Рис. 3.8. Сравнительная характеристика средних размеров частиц PM2.5 и PM10, диаметра волоса человека и песчинок наиболее тонкой фракции (на основе данных www.epa.gov)

Исследование загрязнения атмосферного воздуха в Новороссийской промышленной агломерации с использованием анализатора DustTrak (результаты замеров в трехкратной повторности приведены в приложении В) показало, что на отвалах и в непосредственной близости от них (на расстоянии до 100 м) среднее содержание суммы частиц PM1–PM10 достигает значений $0,594 \text{ мг/м}^3$, наибольшая же концентрация по результатам трехкратного замера доходит до $2,680 \text{ мг/м}^3$. Таким образом, теоретически построенные с использованием программы «Эколог 3.0» ореолы рассеяния взвешенных веществ от отвалов подтверждаются натурными наблюдениями. При этом в атмосферном воздухе ненарушенной территории, находящейся к северо-востоку от Маркотхского хребта и испытывающей значительно меньшее техногенное воздействие, среднее содержание суммы тех же фракций составляет $0,060 \text{ мг/м}^3$, доходя до максимального значения $0,132 \text{ мг/м}^3$. Среднее содержание фракции PM2.5 в районе расположения отвалов ($0,134 \text{ мг/м}^3$) более чем в 2 раза превышает средние величины, характерные для фоновых территорий ($0,050 \text{ мг/м}^3$). Эти результаты соответствуют осредненным данным, показывающим, что общая концентрация PM2.5 примерно в 2 раза выше в воздухе города, чем сельской местности (Pöschl, 2005). При происходящем ветровом переносе, твердые частицы оказываются на западном побережье Цемесской бухты, что приводит к росту

концентраций суммы фракций в 2,5–3,0 раза в сравнении с фоном. В городских ландшафтах аэрозоли вступают в реакции с прочими примесями. Расчетные среднемировые данные (Karagulian et al., 2015) показывают, что 25 % городских твердых частиц фракции PM_{2.5} образуются в связи с дорожным движением, 15 % выделяются промышленностью, в том числе, при производстве электроэнергии, 20 % от бытового сжигания топлива, 22 % от прочих неустановленных техногенных источников и 18 % от естественной пыли и морской соли (табл. 3.5)

Таблица 3.5

Основные источники поступления частиц размерами 2,5 и 10 мкм в атмосферный воздух, среднемировые данные по Karagulian et al., 2015

Источники выброса	Фракции	Вклад источника, %
Дорожное движение	PM _{2.5}	25
	PM ₁₀	25
Промышленность	PM _{2.5}	15
	PM ₁₀	18
Бытовое сжигание биомассы	PM _{2.5}	20
	PM ₁₀	15
Прочие техногенные источники	PM _{2.5}	22
	PM ₁₀	20
Природные пыль и морская соль	PM _{2.5}	18
	PM ₁₀	22

Формирование новых аэрозолей в воздухе происходит со средней скоростью до 100 частиц на см³ за 1 с, а увеличение размера частиц за счет образования связей составляет от 1 до 25 нм в час, причем процесс протекает намного интенсивнее в течение лета, чем зимой (Kulmala et al., 2004). Химические реакции протекают как на поверхности, так и в объеме твердых и жидких аэрозольных частиц, и могут влиять на химический состав газовой фазы в атмосфере, а также на свойства атмосферных частиц и их влияние на климат и здоровье человека. Из-за большой площади реакционной поверхности, мелкие аэрозольные частицы вступают в активные взаимодействия с газами: окисление, кислотно-основные реакции, гидролиз, конденсация и другие процессы. Более того, взаимодействие с водой может привести к структурным перестройкам твердых аэрозольных частиц с образованием высококонцентрированных капель водных растворов (гигроскопичный рост) и образованием капель облаков и кристаллов льда (Pöschl, 2005).

Преобразования атмосферных аэрозолей и взаимодействия газов и частиц обычно связаны с несколькими физико-химическими процессами, такими как массоперенос, фазовый переход и химические реакции на границе раздела или в объеме газовой, жидкой и твердой фаз. Эти многофазные процессы являются ключевыми для взаимодействия

аэрозолей и облаков. На рис. 3.9 представлена схема поглощения содержащихся в атмосферном воздухе примесей твердыми частицами.

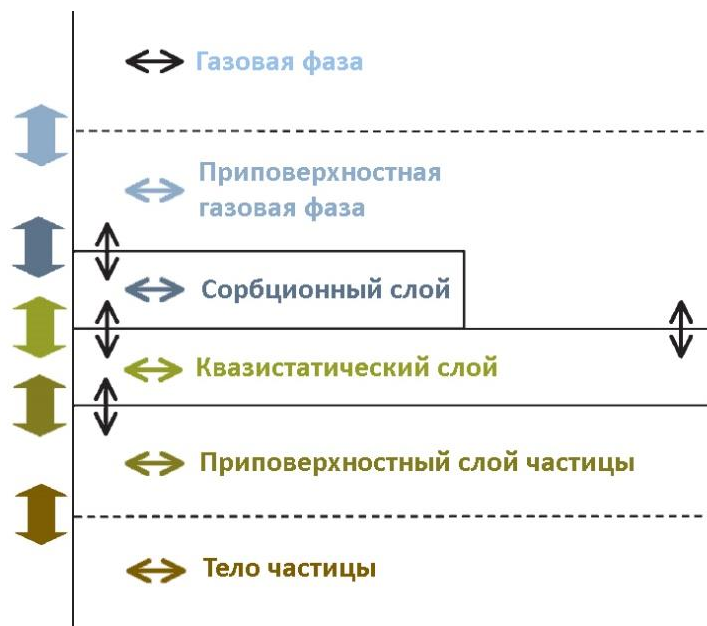


Рис. 3.9. Слои, процессы переноса и химические реакции на границе раздела газов и твердых частиц в атмосферном воздухе (по данным Pöschl, 2005). Вертикальными широкими стрелками на левой стороне обозначены потоки диффузии в газовой фазе и объемной массе, адсорбция и десорбция, перенос между сорбционным и квазистатическим слоями и между квазистатическим и приповерхностным слоями частицы. Тонкие стрелки внутри модельных отсеков представляют различные типы химических взаимодействий: газофазные; в приповерхностной газовой фазе; в поверхностном слое; поверхностно-объемные реакции

Благодаря недавним достижениям в области приборов и измерительных технологий теперь можно измерить атмосферные частицы диаметром 1 нм (Kulmala et al., 2013). В Европе создана первая база данных по содержаниям твердых частиц, отражающая средние уровни выбросов (Kumala et al., 2011; Paasonen et al., 2013). Научное понимание подходов к измерениям и оценке процессов образования, дисперсии, физической и химической трансформации, воздействия на окружающую среду и здоровье заметно улучшилось за последние годы (HEI, 2013). Для проведения таких изысканий имеется ряд инструментов, но достижение значимых результатов требует предварительной разработки стандартных методов измерения. Кроме того, существует ряд ограничений использования датчиков: (1) недостаточная стабильность длительной автономной работы; (2) высокая стоимость широкого использования в полевых условиях; (3) ограниченная воспроизводимость данных различными инструментами (Kumar et al., 2011). Частицы размером менее 30 нм, образующие ядра конденсации являются полулетучими и образуются путем конверсии газа в частицу, составляя до 40 % от общего количества частиц на обочинах крупных транспортных магистралей (Графкина и др., 2017; Kulmala et al., 2004). Скорость образования ядер конденсации, то есть интенсивность конверсии газа в частицу, также зависит от температуры. Поэтому замеры аналогичных по составу выбросов – например, SO₂, некоторые летучие органические соединения – могут отражать разительно отличающиеся концентрации в различных атмосферных условиях. Летучий характер ядер конденсации вызывает проблемы в отношении измерения их содержаний по причине сильной пространственно-временной изменчивости после выброса в атмосферную среду

(Dall'Osto et al., 2011). За последние несколько лет был достигнут существенный прогресс в разработке аэрозольных масс-спектрометров для анализа состава отдельных фракций частиц в реальном времени. По мере совершенствования методов испарения, ионизации, калибровки и анализа данных, эти инструменты могут обеспечить надежный количественный анализ, особенно для неорганических соединений. Однако строение частиц значительно влияет на эффективность испарения и ионизации и, следовательно, на интерпретацию данных измерений (Pöschl, 2005).

Таким образом, взаимодействие первичных сдуваемых с отвалов пылевидных твердых частиц с содержащимися в атмосферном воздухе примесями ведет к формированию вторичных загрязненных аэрозолей. Поскольку измерение их концентраций остается затруднительным, наиболее индикативным показателем экологического состояния ландшафтов является почвенный покров – депонирующая среда, отражающая суммарный итог техногенного воздействия на окружающую среду.

3.2.2 Загрязнение почвенного покрова

В условиях преобладания ветров северных и северо-восточных румбов (рис. 3.10), перенос пыли с отвалов происходит в направлении жилых районов г. Новороссийска. В результате наиболее густонаселенные части города, в которых проживает более 200 тысяч человек, находятся в зоне максимального неблагоприятного воздействия.

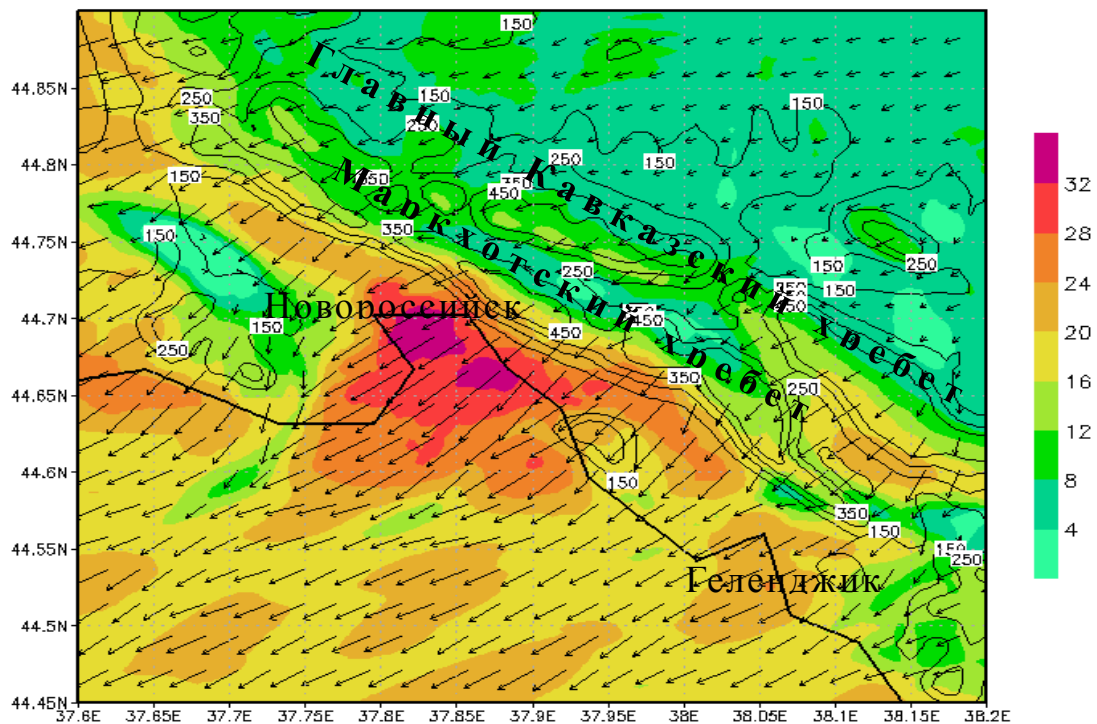


Рис. 3.10. Поле ветра на уровне 10 м (цветом показана скорость, векторами – скорость и направление ветра, изолиниями – рельеф) во время боры 27.01.2012 (Торопов, Шестакова, 2014).

Средняя скорость ветра и его направление во время боры имеют некоторые общие особенности, рассмотренные на примере боры 26–28 января 2012 г. по данным метеостанций г. Новороссийска. Как видно из рис. 3.11, на станции «Шесхарис 7», где наблюдаются максимальные скорости ветра, направление ветра строго северо-восточное, а в западной части бухты направление отличается большей изменчивостью, здесь ветер может дуть также с севера и северо-запада, что связано с ориентацией рельефа относительно натекающего потока и положением станций относительно гребней Маркотхского хребта (Шестакова и др., 215).

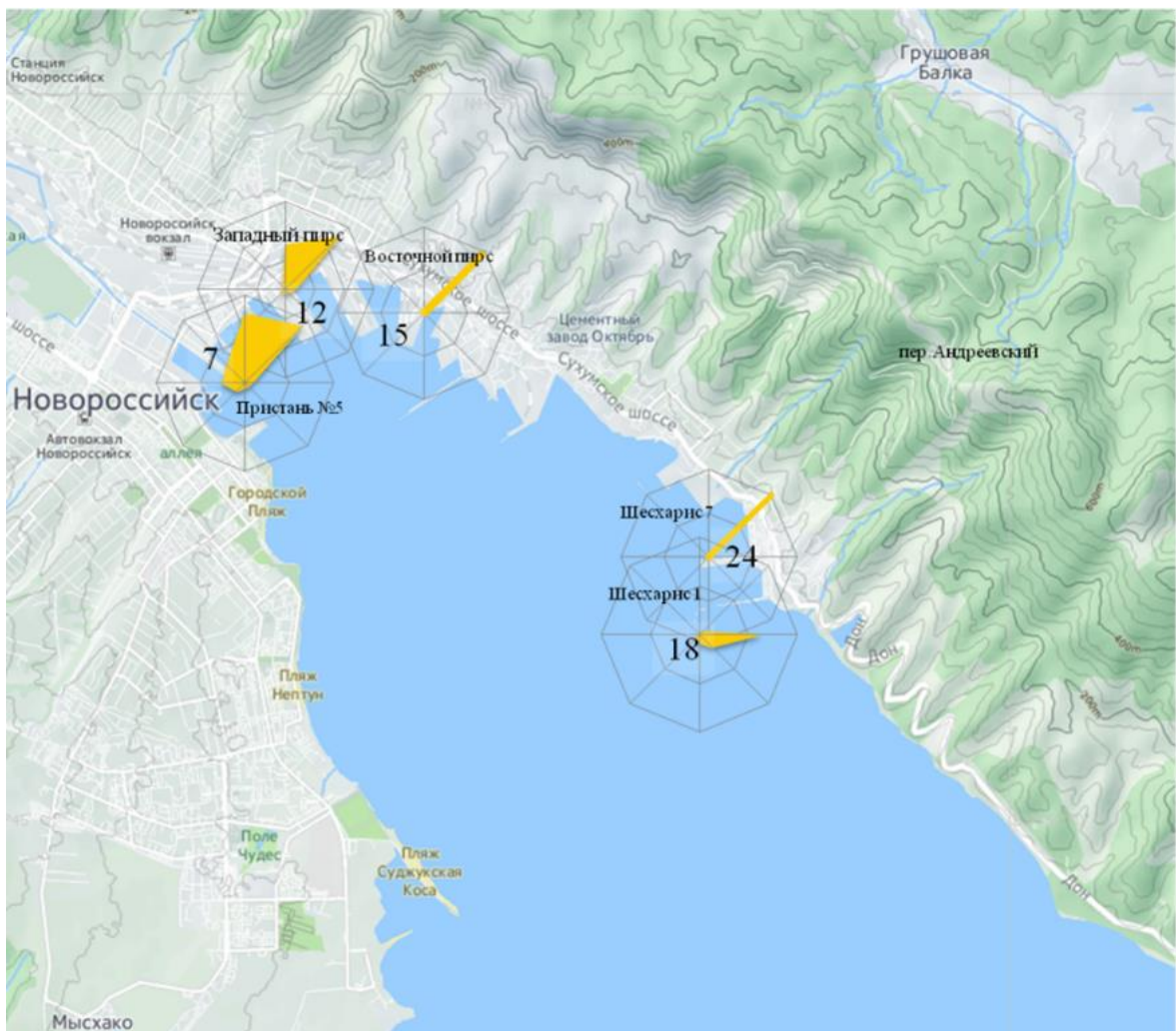


Рис. 3.11. Средняя скорость (м/с) и роза ветров во время боры 26–28 января 2012 г. по данным метеостанций г. Новороссийска (Торопов, Шестакова, 2014)

Таким образом, из-за расположения отвалов на склоне Маркотхского хребта, при наиболее частых ветрах северо-восточного направления, сдуваемая пыль переносится в сторону города, действуя в атмосфере как сорбент, соосаждающий выбросы из других источников и усиливающий загрязнение в черте города.

Геохимическая трансформация территории почв Новороссийской промышленной агломерации в условиях пылевой нагрузки может быть оценена путем сопоставления содержаний в них элементов со среднемировыми концентрациями в осадочных породах (Григорьев, 2009). Геохимический спектр (рис. 3.12), построенный относительно кларков элементов в данном типе пород, демонстрирует полиэлементную аномалию в городском почвенном покрове, при этом средние КК (кларки концентрации – превышение содержания элемента в изучаемых почвах над содержанием в геосфере) 6 химических элементов доходят до величин, равных десяткам.



Рис. 3.12. Геохимические спектры почв Новороссийской промышленной агломерации относительно кларков осадочных пород

По предложению Н.С. Касимова и Д.В. Власова (Касимов, Власов, 2015), рассчитаны КК и КР (кларки рассеяния – превышение содержания элемента в геосфере над содержанием в изучаемых почвах) относительно кларков верхней части континентальной земной коры различных авторов: для Mo и Ba – кларк Р.Л. Рудник, С. Гао (Rudnick, Gao, 2003), Bi, Co, Cu и V – Ж. Ху, С. Гао (Hu, Gao, 2008), Sn – К.Х. Ведеполья (Wedepohl, 1995), As, Cr, Ni, Pb, Sr, W и Zn – Н.А. Григорьева (Григорьев, 2009). Построенный геохимический спектр (рис. 3.13) характеризуют региональную литохимическую специфику изучаемой территории. Выделяемая при этом аномалия, включающая 9 элементов с $КК > 1,5$, отражает состав почвообразующих мергелевых пород и позволяет выделить группу элементов, имеющих относительно высокие концентрации в местных геохимических условиях.



Рис. 3.13. Геохимические спектры почв Новороссийской промышленной агломерации относительно кларков верхней части континентальной земной коры

Для более детальной характеристики уровня загрязнения почв техногенно нарушенных территорий рассчитан показатель K_c – превышения содержаний элементов в техногенно нарушенных почвах относительно фоновых почв (Алексеевко и др., 2008а). Особенности загрязнения почв Новороссийской промагломерации выявлены путем сравнения с кларками почв селитебных ландшафтов (Алексеевко, Алексеевко, 2013). Геохимические спектры (рис. 3.14) демонстрируют более узкую группу приоритетных загрязняющих элементов.

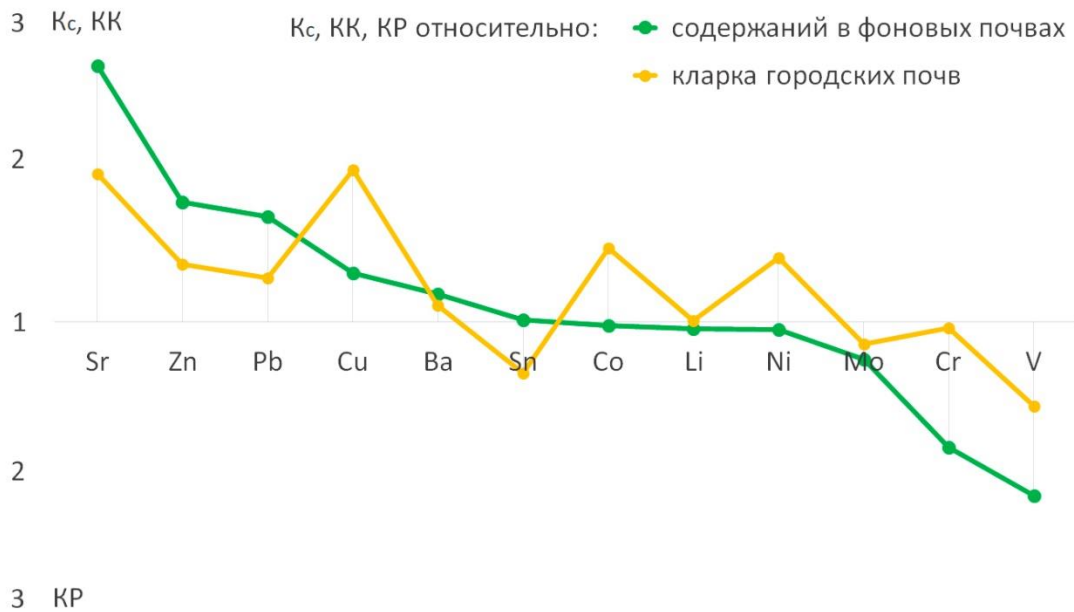


Рис. 3.14. Геохимические спектры почв Новороссийской промышленной агломерации относительно содержаний в почвах ненарушенных ландшафтов и кларка почв селитебных ландшафтов (Алексеевко, Алексеевко, 2013)

Средние превышения содержаний металлов в почвах промышленной агломерации относительно фоновых величин составляют: $Sr_{2,5}Zn_{1,7}Pb_{1,7}Cu_{1,3}Ba_{1,2}$. При этом максимальные K_c относительно фона доходят до значений $Zn_{16}Pb_{14}Cu_5Sr_5Ba_4$. Накопление Pb, Zn, Cu и Sr в почвах техногенных ландшафтов достаточно неоднородно (исходные результаты анализов для всех точек опробования приведены в приложении А). Так, доля площади с превышением фоновых содержаний составляет от 51 до 70 % для Zn, Pb, Cu и Ba, доходит до 100 % в случае Sr (рис. 3.15).

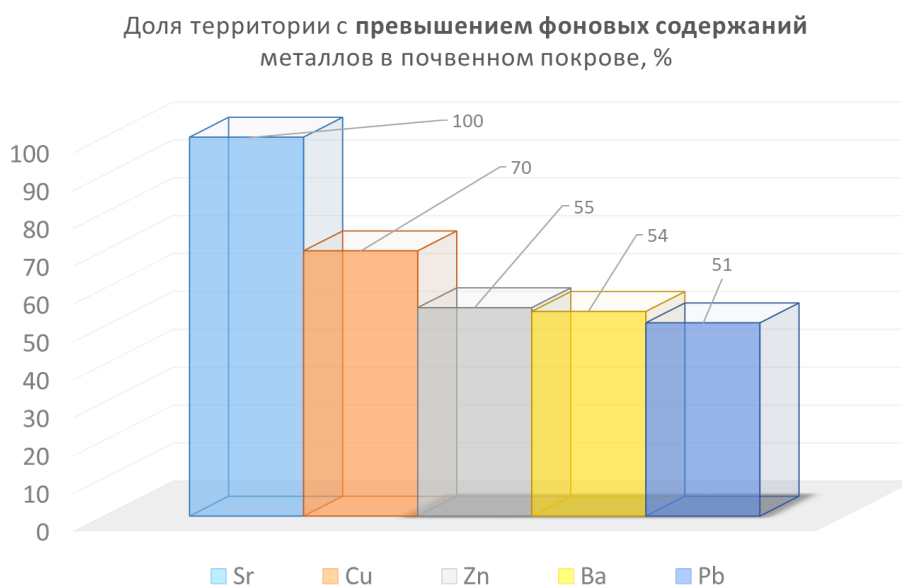


Рис. 3.15. Пространственная характеристика загрязнения почв металлами в сравнении с ненарушенными территориями

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 (Алексеев, 2017б). 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.

Проведенные замеры содержания пыли на высоте 1,5 м позволяют предположить, что в условиях резкого преобладания дующего со стороны отвалов ветра, механически сдуваемая с незадернованной поверхности пыль размером 1–10 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, площадь которых достигает 5 км².

В геохимических исследованиях традиционно особенно подробно рассматривается свинец и существенная роль этилированного бензина в загрязнении городской среды и в целом биосферы. Накопление свинца в окружающей среде городов напрямую коррелирует с числом жителей, причем содержание Pb в почве возрастает по мере приближения к центру города (Mielke et al., 2010). Концентрации Pb в городской среде превышают, в среднем по миру, фоновые величины в 2–4 раза (Алексеевко, Алексеевко, 2013; Ander et al., 2013; Mapping..., 2011) и зависят от типа землепользования (Lark, Scheib, 2013). Высокие содержания в почве Pb зачастую связаны с «наследием» действовавших прежде производств, значительно загрязнявших свинцом почвы и толщи донных отложений. В случае Новороссийской агломерации, одним из основных источников накопления Pb депонирующей средой почвенного покрова может являться эмиссия пыли на заводе. Среднее содержание данного элемента в пыли, отобранной из дымовой трубы, доходит до значения 2000 мг/кг, что в десятки раз превосходит концентрации Pb в почвах ненарушенных ландшафтов. В настоящее время, пылевая нагрузка цементного производства значительно снижена благодаря использованию современных фильтрационных систем, однако загрязненный почвенный покров отражает накопленный экологический ущерб. Среднее превышение содержания данного элемента в 2,5 раза в почвах на 100 % территории Новороссийской агломерации по сравнению с почвами лесных ландшафтов может быть обусловлено поступлением пыли с нерекультивированных отвалов. На Северо-Западном Кавказе 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 горизонтах. Однако при пылении отвалов в Новороссийской промагломерации, в атмосферу попадает элювий вскрышных пород и некондиционного мергеля, в составе которого повышены содержания Sr. В результате, при оседании взвешенных частиц происходит относительное обогащение поверхностных горизонтов городских почв данным элементом по сравнению с почвами лесных ландшафтов.

Такие металлы как Ba, Cu и Zn, предположительно, выделяются преимущественно при истирании шин, поскольку вблизи улиц с интенсивным автомобильным движением обнаружены в концентрациях на порядки выше, чем на удалении от магистралей, и в некоторых точках превышающих допустимые уровни. Из-за измененных гидрологических характеристик городских водосборных зон, поступающие с автодорог наиболее

загрязненные первые порции ливневых вод коренным образом изменяют биогеохимические показатели городского стока и находящихся гипсометрически ниже почв в условиях гористого рельефа. В городских водотоках мигрируют приносимые дождевыми водами загрязняющие элементы из промышленных и жилых районов, преимущественно адсорбированные взвешенными частицами, попадая в конечном итоге в акваторию Цемесской бухты. Более детально оценить степень и глубину произошедшего загрязнения почв позволяет исследование почвенных разрезов на трансэлювиальной позиции в ландшафтно-геохимической катене.

Радиальное распределение элементов, содержания которых повышены в почвах техногенных ландшафтов, является аккумулятивным с наибольшими концентрациями в верхнем горизонте (20 см). В почвенном разрезе, заложенном на трансаккумулятивной позиции (рис. 3.16), содержания Pb, Zn, Cu 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 при доступном кислороде на таких глубинах связано, во-первых, с осаждением пыли из атмосферного воздуха. Составляющие аномалию металлы являются подвижными водными мигрантами, переносимыми 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 на этих глубинах. Заметные объемы накопления Ba и Sr связаны не только с последствия техногенеза, но и с высокими кларковыми концентрациями элементов, даже двукратное увеличение которых приводит к значительному росту абсолютного содержания металлов. Концентрации Sr распределены достаточно равномерно по мере увеличения глубины, что говорит об унаследованном характере высоких содержаний элемента, обусловленном местной геохимической специализацией почвообразующих пород.

Аккумулятивный характер радиального распределения элементов с превышающими фоновые значения содержаниями позволяет предполагать, что накопление основных загрязняющих элементов в поверхностном горизонте почв, произошло под влиянием техногенеза и обусловлено переносом загрязняющих веществ в форме аэрозолей и их осаждением на поверхности почвы.

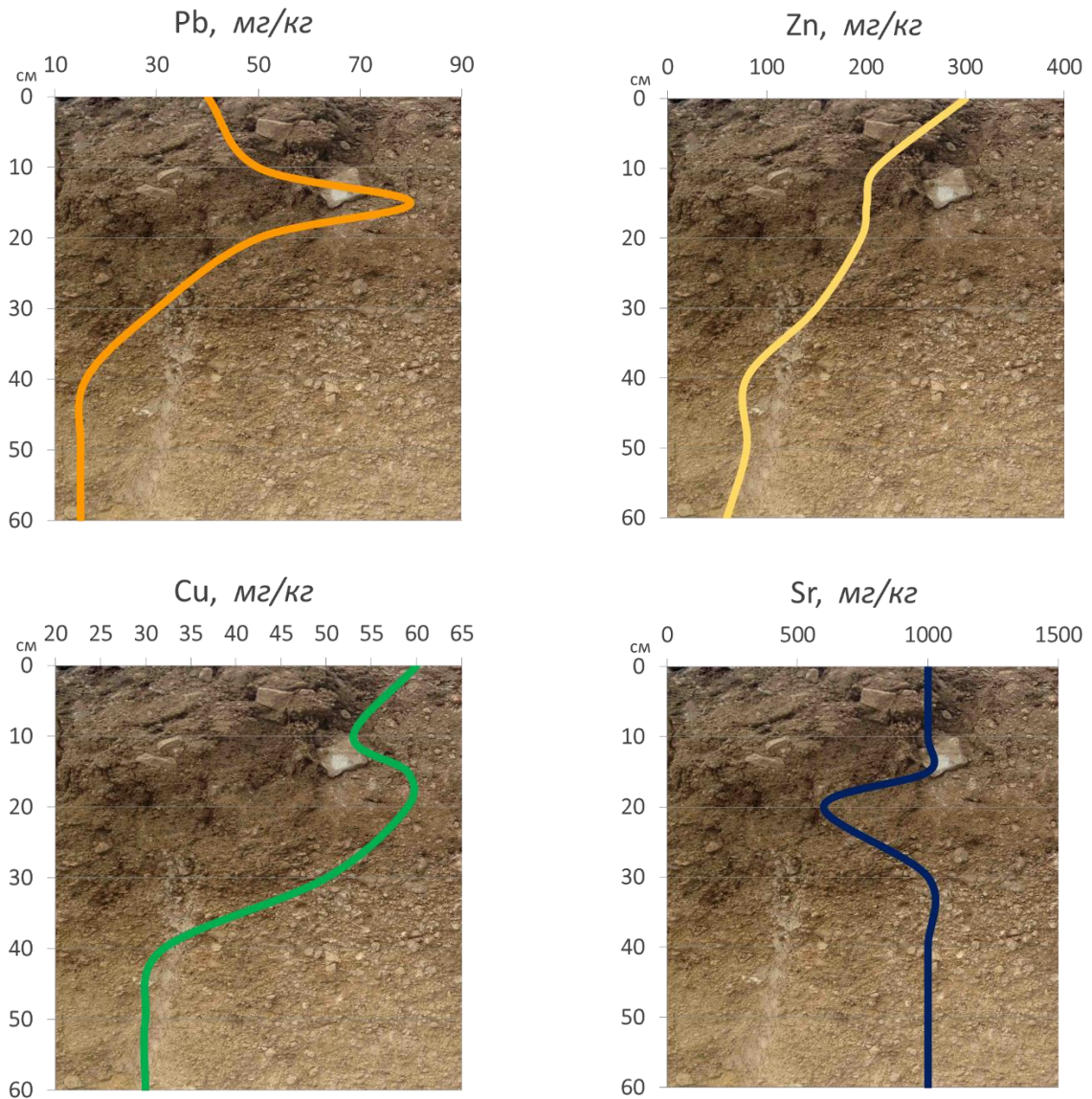


Рис. 3.16. Радиальное распределение Pb, Zn, Cu и Sr в профиле дерново-карбонатной почвы на трансэлювиальной позиции в Новороссийской промышленной агломерации

Более детально оценить воздействие осаждающихся твердых взвешенных частиц на экологическое состояние почв позволяет исследование закономерностей накопления загрязнителей при меняющихся геоморфологических условиях – положении в ландшафтно-геохимической катене.

3.2.3 Воздействие условий рельефа на загрязнение почв

Для рассмотрения влияния геоморфологических факторов на изменение в почвах средних содержаний ряда химических элементов на территории города под воздействием атмосферных осадений были использованы осредненные результаты собственных исследований и мониторинговых изысканий, проводившихся в НИИ Геохимии биосферы

(г. Новороссийск) с 2005 по 2010 гг. Концентрации были рассчитаны отдельно для геохимических ландшафтов жилых зон, пустырей и промышленных ландшафтов.

Совместное влияние общей антропогенной нагрузки, особенностей рельефа и этажности застройки жилых зон привело к определенному разбросу средних содержаний элементов в почвах ландшафтов различных геоморфологических зон. Превышение более чем в 1,5 раза максимальных средних содержаний над минимальными в жилой зоне установлено для 8 элементов из 22 изученных (табл. 3.6): Pb (в 4,5), Sr (в 1,7), Ag (в 2,2), Cu (в 1,7), Zn (в 2,5), Ga (в 1,5), Sn (в 1,6), Yb (в 1,5). При этом максимальные средние содержания в почвах отдельных ландшафтов города Новороссийска Pb, Sr, Zn и Cu существенно повышены и более чем в 2 раза превосходят их средние содержания в почвах городов с такой же численностью (Alekseenko, Alekseenko, 2014).

В почвах ландшафтов пустырей, в зависимости от геоморфологических условий, превышение максимальных средних содержаний над минимальными, больше 1,5 установлено уже только для четырех элементов: Zn (в 1,7), Pb, Co и Ag (в 1,6 раза). Необходимо отметить, что максимальные средние содержания этих элементов в почвах ландшафтов пустырей значительно ниже, чем в почвах жилых зон (табл. 3.6) и средних содержаний для городов с числом жителей 300–700 тысяч (Алексеенко, Алексеенко, 2013).

В почвах ландшафтов промышленных зон, отличающихся по геоморфологическим особенностям, распределение средних содержаний большинства химических элементов более равномерное. Наибольшее превышение максимальных средних содержаний над минимальными характерно лишь для двух элементов: Sn (в 2,9) и Pb (в 1,7 раза). Максимальное среднее содержание этих элементов в почвах промышленных зон выше, чем в почвах пустырей, но ниже чем в жилых зонах. Таким образом, под совместным воздействием геоморфологических и антропогенных факторов наиболее неравномерно средние содержания самой широкой группы элементов распределены в почвах жилых зон. В их пределах установлены и максимальные для всего города средние содержания рассматриваемых загрязняющих элементов. Эти содержания превосходят и средние содержания для почв городов с населением 300–700 тыс. жителей.

Таблица 3.6

Содержание химических элементов (мг/кг) в почвах ландшафтов жилых зон при меняющихся геоморфологических условиях

Элементы	Л А Н Д Ш А Ф Т Ы								
	Одноэтажные			2-5 этажные			5-10 этажные		
	Трансэлювиальные	Трансаккумулятивные	Трансупераквальные	Трансэлювиальные	Трансаккумулятивные	Трансупераквальные	Трансэлювиальные	Трансаккумулятивные	Трансупераквальные
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cu	$\frac{62}{20 - 1500}^*$	$\frac{69}{20 - 1500}$	$\frac{66}{30 - 600}$	$\frac{41}{30 - 50}$	$\frac{43}{30 - 80}$	$\frac{44}{30 - 100}$	$\frac{44}{20 - 80}$	$\frac{44}{20 - 60}$	$\frac{48}{20 - 80}$
Zn	$\frac{172}{30 - 1500}$	$\frac{186}{30 - 1000}$	$\frac{204}{30 - 3000}$	$\frac{137}{50 - 400}$	$\frac{106}{40 - 300}$	$\frac{123}{40 - 400}$	$\frac{83}{30 - 500}$	$\frac{86}{30 - 200}$	$\frac{127}{30 - 800}$
Pb	$\frac{91}{15 - 5000}$	$\frac{67}{15 - 800}$	$\frac{78}{20 - 600}$	$\frac{63}{30 - 100}$	$\frac{216}{20 - 1500}$	$\frac{48}{30 - 200}$	$\frac{62}{20 - 500}$	$\frac{48}{20 - 80}$	$\frac{53}{20 - 150}$
Ag	$\frac{0,2}{0,05 - 10}$	$\frac{0,16}{0,05 - 2}$	$\frac{0,16}{0,05 - 0,6}$	$\frac{0,13}{0,08 - 0,3}$	$\frac{0,12}{0,06 - 0,3}$	$\frac{0,19}{0,06 - 2}$	$\frac{0,09}{0,05 - 0,15}$	$\frac{0,09}{0,06 - 0,15}$	$\frac{0,11}{0,06 - 0,5}$
Sn	$\frac{8,1}{3 - 600}$	$\frac{6,5}{3 - 50}$	$\frac{7,1}{3 - 50}$	$\frac{6,3}{4 - 10}$	$\frac{5,4}{4 - 8}$	$\frac{5,9}{5 - 10}$	$\frac{5,26}{4 - 8}$	$\frac{5,4}{4 - 10}$	$\frac{5,1}{4 - 10}$
Mo	$\frac{1,9}{0,8 - 20}$	$\frac{1,9}{1 - 8}$	$\frac{2}{1 - 5}$	$\frac{1,6}{1,5 - 2}$	$\frac{1,6}{1 - 2}$	$\frac{1,8}{1 - 2}$	$\frac{1,9}{8 - 3}$	$\frac{1,9}{1 - 3}$	$\frac{2}{1 - 3}$
Ba	$\frac{630}{300 - 2000}$	$\frac{650}{400 - 1500}$	$\frac{660}{400 - 2000}$	$\frac{580}{500 - 800}$	$\frac{570}{500 - 800}$	$\frac{590}{400 - 800}$	$\frac{570}{400 - 800}$	$\frac{720}{500 - 1000}$	$\frac{600}{500 - 800}$
Co	$\frac{16}{6 - 20}$	$\frac{16}{3 - 30}$	$\frac{16}{5 - 20}$	$\frac{15}{10 - 20}$	$\frac{14}{10 - 20}$	$\frac{18}{10 - 20}$	$\frac{15}{8 - 20}$	$\frac{18}{6 - 20}$	$\frac{15}{10 - 20}$
Ni	$\frac{33}{10 - 150}$	$\frac{34}{3 - 50}$	$\frac{34}{5 - 60}$	$\frac{37}{30 - 50}$	$\frac{32}{10 - 20}$	$\frac{30}{20 - 40}$	$\frac{38}{20 - 200}$	$\frac{40}{30 - 50}$	$\frac{36}{20 - 50}$
Mn	$\frac{1050}{400 - 5000}$	$\frac{1010}{300 - 5000}$	$\frac{1060}{300 - 3000}$	$\frac{1230}{1000 - 1500}$	$\frac{1160}{800 - 1500}$	$\frac{1220}{600 - 2000}$	$\frac{1030}{500 - 1500}$	$\frac{1210}{500 - 1500}$	$\frac{1060}{500 - 1500}$

Продолжение таблицы 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ti	$\frac{3650}{1500 - 6000}$	$\frac{3780}{2000 - 6000}$	$\frac{3840}{2000 - 6000}$	$\frac{3640}{2000 - 5000}$	$\frac{3780}{2000 - 5000}$	$\frac{4130}{2000 - 6000}$	$\frac{3740}{2000 - 6000}$	$\frac{4300}{2000 - 5000}$	$\frac{3850}{2000 - 6000}$
V	$\frac{63}{30 - 150}$	$\frac{65}{30 - 100}$	$\frac{62}{30 - 100}$	$\frac{63}{30 - 100}$	$\frac{53}{40 - 80}$	$\frac{55}{30 - 80}$	$\frac{62}{40 - 150}$	$\frac{67}{50 - 80}$	$\frac{65}{40 - 100}$
Cr	$\frac{102}{30 - 1000}$	$\frac{102}{30 - 500}$	$\frac{115}{30 - 300}$	$\frac{84}{60 - 100}$	$\frac{119}{80 - 200}$	$\frac{100}{60 - 300}$	$\frac{84}{40 - 300}$	$\frac{92}{80 - 100}$	$\frac{89}{60 - 150}$
Ga	$\frac{11}{5 - 20}$	$\frac{13}{5 - 20}$	$\frac{12}{5 - 20}$	$\frac{10}{6 - 15}$	$\frac{12}{5 - 15}$	$\frac{12}{6 - 15}$	$\frac{11}{5 - 20}$	$\frac{15}{10 - 20}$	$\frac{13}{5 - 20}$
P	$\frac{810}{200 - 2000}$	$\frac{880}{300 - 3000}$	$\frac{830}{300 - 2000}$	$\frac{600}{400 - 800}$	$\frac{610}{400 - 1000}$	$\frac{700}{500 - 1500}$	$\frac{660}{300 - 1500}$	$\frac{850}{500 - 1500}$	$\frac{640}{300 - 2000}$
Li	$\frac{34}{30 - 60}$	$\frac{34}{30 - 60}$	$\frac{33}{30 - 60}$	$\frac{31}{30 - 50}$	$\frac{31}{30 - 50}$	$\frac{30}{30 - 50}$	$\frac{35}{30 - 60}$	$\frac{41}{40 - 60}$	$\frac{39}{30 - 60}$
Sr	$\frac{460}{300 - 1500}$	$\frac{480}{300 - 1000}$	$\frac{480}{300 - 1000}$	$\frac{530}{400 - 800}$	$\frac{440}{300 - 600}$	$\frac{490}{300 - 1500}$	$\frac{450}{300 - 1000}$	$\frac{780}{400 - 1000}$	$\frac{530}{300 - 1000}$
Y	$\frac{14}{6 - 30}$	$\frac{15}{4 - 30}$	$\frac{15}{6 - 20}$	$\frac{14}{10 - 20}$	$\frac{13}{6 - 20}$	$\frac{15}{8 - 20}$	$\frac{13}{5 - 20}$	$\frac{17}{10 - 20}$	$\frac{15}{6 - 20}$
Yb	$\frac{1,3}{0,8 - 3}$	$\frac{1,5}{1 - 3}$	$\frac{1,5}{1 - 3}$	$\frac{1,4}{1 - 2}$	$\frac{1,3}{0,8 - 2}$	$\frac{1,4}{1 - 2}$	$\frac{1,3}{1 - 3}$	$\frac{2}{1,5 - 3}$	$\frac{1,5}{1 - 3}$
Nb	$\frac{10,6}{6 - 20}$	$\frac{11}{5 - 20}$	$\frac{10,8}{6 - 20}$	$\frac{10}{5 - 10}$	$\frac{9,6}{8 - 10}$	$\frac{9,7}{5 - 10}$	$\frac{10,8}{8 - 20}$	$\frac{11,8}{8 - 15}$	$\frac{11,3}{8 - 20}$
Sc	$\frac{6,2}{3 - 10}$	$\frac{6,3}{3 - 20}$	$\frac{6,3}{3 - 10}$	$\frac{6,4}{5 - 8}$	$\frac{5,9}{4 - 10}$	$\frac{5,7}{5 - 6}$	$\frac{5,7}{3 - 10}$	$\frac{7,6}{5 - 10}$	$\frac{7,1}{5 - 10}$
Zr	$\frac{96}{40 - 200}$	$\frac{101}{50 - 200}$	$\frac{101}{50 - 200}$	$\frac{103}{80 - 150}$	$\frac{93}{80 - 100}$	$\frac{93}{60 - 100}$	$\frac{98}{50 - 200}$	$\frac{128}{80 - 200}$	$\frac{111}{60 - 200}$

* Примечание: в числителе – среднее содержание в почвах; в знаменателе – минимальное и максимальное содержания в отдельных пробах.

Рассмотрение средних содержаний химических элементов в почвах жилых зон показало, что в трансэлювиальных ландшафтах только у трех элементов (Ag, Sn и Mn) они максимальны для всей рассматриваемой зоны, выделенной по сравнительно однотипной техногенной нагрузке. В то же время минимальные средние содержания в самых верхних частях склонов установлены для 10 элементов: Ag (при 5–10 этажной застройке), Cu, Zn, Mo, Ti, Cr, Ga, Y, Yb, Sc.

В почвах расположенных ниже ландшафтов жилых зон (трансаккумулятивных и трансупераквальных) число элементов, образующих максимальные средние содержания, увеличилось в 6 раз и достигло 18: Cu, Zn, Pb, Mo, Ba, Co, Ni, Ti, V, Cr, Ga, Li, Sr, Y, Yb, Sc, Zr, Nb. Число же элементов с минимальными средними содержаниями (Ag, Mn и ряд элементов, образующих при изменении этажности то максимальные, то минимальные содержания) уменьшилось.

Объяснить такую картину можно следующим образом: особенности рельефа привели к тому, что в почвах верхних частей склонов уровни содержания сформировались, в основном, за счет воздействия загрязняющих веществ, поступающих непосредственно с осаждающейся пылью (Алексеевко, 2000; Алексеевко, 2016в). В почвах ландшафтов, расположенных ниже по склону, к загрязняющим веществам, поступающим непосредственно при осаждении, добавились загрязняющие вещества, мигрирующие из вышерасположенных почв. Рассмотренное влияние формы городского рельефа на формирование средних содержаний элементов в почвах справедливо для жилых и промышленных зон, а также для пустырей (табл. 3.6).

Определенную информацию о влиянии городского рельефа на геохимические особенности почв позволяет получить анализ распределения минимальных и максимальных содержаний химических элементов в отдельных пробах. В почвах верхних, трансэлювиальных ландшафтов минимальные содержания выявлены для одноэтажных застроек у 8 элементов, для 2–5 этажных – у 4 элементов и для 5–10 этажных – у 13 элементов. Эти минимальные содержания в отдельных пробах из верхних частей склонов жилых зон скорее всего отвечают (по крайней мере, близки) природным концентрациям элементов. Несколько условно можно проследить изменения таких природных, минимальных содержаний в катене от верхних частей склонов к нижним, надводным (рис. 3.17). Большое число проб способствует высокой степени достоверности таких построений. В результате, полученные данные характеризуют изменения под влиянием рельефа в части почв, наименее подверженной нагрузке техногенных веществ, то есть данные о миграции и концентрации элементов в относительно незагрязненных частях почв (Перельман, Касимов, 1999; Vech et al., 2015).

Установлено, что характер рассматриваемых геохимических изменений почв в катене зависит не только от положения на склоне, но и от типа техногенной нагрузки. В относительно незагрязненных почвах в ландшафтах с одноэтажной застройкой произошло увеличение содержаний 7 элементов: Cu, Pb, Mo, Ba, Ti, Yb и уменьшение – 3: Co, Ni, Mn. При 2–5 этажной застройке в нижней части катены концентрация возросла только у Sn, тогда как уменьшилась у 9 элементов: Zn, Ag, Mo, Ba, Ni, Mn, Sr, Y, Zr. При 5–9 этажной застройке в относительно незагрязненных почвах нижней части катены возросли содержания 7 элементов: Ag, Ba, Ni, Cr, Y, Sc и Zr, а уменьшились Mo и Co.

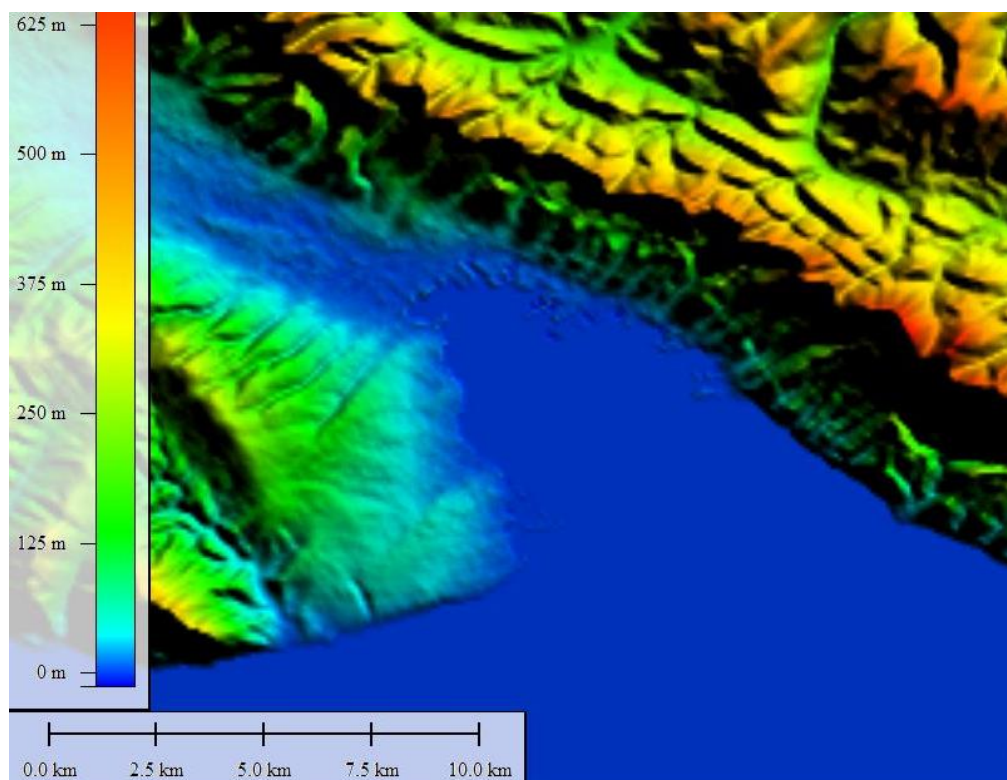


Рис. 3.17. Цифровая модель рельефа Новороссийской промышленной агломерации (составлено по данным ДЗЗ «Global Mapper»)

Аналогичные изменения произошли и в почвах ландшафтов пустырей (накопление в нижней части катены Zn, Co, Ni, Mn, V и уменьшение содержаний Cu, Ga и Sr), и промышленной зоны (накопление Mo и Cr и уменьшение Ag, Sn, Co, Ni, Mn, V, Cr, Y, Yb, Sc и Zn).

В одних случаях изменения относительно велики (накопление Ni при 5–10 этажной застройке; уменьшение содержаний Mo при 2–5 этажной), в других незначительны, или вообще не отмечаются (Zn в промзоне). Однако роль рельефа и типа преобладающего техногенеза прослеживается четко. То, что в зависимости от сочетания этих двух факторов одни и те же элементы могут в процессе миграции вести себя совершенно

различно, свидетельствует, во-первых, об их миграции в различных формах и, во-вторых, о наличии нескольких различных геохимических барьеров (Алексеевко, 2006; Alekseenko et al., 2017a; Максимович, Хайрулина, 2011).

Суммарный эффект влияния геоморфологических факторов на геохимический облик городских почв отражается в изменении средних содержаний химических элементов (Мотузова, Карпова, 2013). Рассмотренные выше изменения минимальных содержаний элементов в отдельных пробах указывают на влияние рельефа на геохимические особенности той (возможно сравнительно малой) части почв, которая не испытала прямого и значительного поступления загрязняющих веществ (Алексеевко и др., 2015a).

Данные о максимальных содержаниях элементов в отдельных пробах из почв ландшафтов, отличающихся по геоморфологическим особенностям, показывают, что обычно максимальные содержания в отдельных пробах совпадают с наибольшими средними содержаниями. Следовательно, определение наибольших содержаний в отдельных пробах зависит (как это было показано для средних содержаний) не только от антропогенных загрязнителей, но и от особенностей рельефа (Alekseenko, Pashkevich, 2016 Timofeev et al., 2015).

Неравномерность распределения элементов в отдельных пробах выборки значительно больше, чем неравномерность распределения средних содержаний. Так, содержания Pb в одних пробах в 330 раз выше, чем в других, находящихся в изменившихся геоморфологических и, частично, техногенных условиях; для Ag и Sn величина показателя близка к 200 и т.д. (табл. 3.6). Однако общая геохимическая закономерность протекания процесса, вызвавшего такую неравномерность, не установлена. Так, в почвах катены с одноэтажной застройкой величина отношения максимального содержания к минимальному для ряда металлов уменьшается от трансэлювиальных ландшафтов к трансаккумулятивным и затем к трансупераквальным (табл. 3.6): Pb от 330 к 53 и 30; Sn от 200 к 17; Cu от 75 к 20; Cr от 30 к 17; Mo от 25 к 8 и 5. Подобное уменьшение также характерно для V, Ni, Mn, Zr.

Для других элементов в таких же условиях отмечается возрастание неравномерности распределения содержаний от верхних частей склонов к нижним: Zn от 50 к 33 и 100, Ba от 7 к 3,7 и 5 и т.д. (табл. 3.6).

Для ландшафтов с антропогенной нагрузкой, связанной с 2–5 этажной застройкой, чаще в нижних частях склонов отмечается наибольшая неравномерность распределения содержаний. Это подтверждает использованный выше показатель: содержания Cu изменяются от 1,7 к 2,7 и 3,3; Cr от 1,6 к 2,5 и 5; Zn от 8 к 7,5 и 10; Ag от 3,7 к 5 и 33,3; Ba

от 1,6 к 2; Ni от 1,7 к 2 и т.д. Подобная картина характерна и для промышленных ландшафтов: Pb от 6,6 к 7,5 и 13; Sn от 12 к 17; Ni от 2,5 к 10; Mn от 2,5 к 5 и т.д.

Таким образом, влияние геоморфологических факторов сказывается и на равномерности распределения элементов в отдельных пробах почв, однако на этот процесс в условиях города большое влияние оказывают интенсивность и тип антропогенной нагрузки (Алексеенко, 2016а). Рассмотрение влияния природных геоморфологических особенностей на геохимический облик городских почв позволяет сделать следующие выводы:

1. Совместное воздействие антропогенной нагрузки и форм рельефа приводит к существенному (до 4,5 раз) разбросу средних содержаний в почвах целого ряда элементов. Еще больший разброс (до сотен раз) установлен для содержаний металлов в отдельных пробах почв.

2. В почвах нижних частей склонов значительно (в жилой зоне и на пустырях в 6 раз, а в промышленной зоне – в 2 раза) увеличилось число химических элементов, образующих максимальные средние содержания. Это объясняется тем, что к загрязняющим веществам, поступающим непосредственно от загрязнителя, добавились мигрирующие из почв выше расположенных ландшафтов.

3. Геохимические изменения почв от верхних частей катен к нижним произошли и в тех почвах, которые не испытали прямого и значительного поступления загрязняющих веществ и характеризуются минимальными содержаниями в отдельных пробах.

3.2.4 Воздействие растительных сообществ на загрязнение почв

Еще одним фактором, оказывающим влияние на геохимические особенности почв ландшафтов, составляющих город, являются особенности городской растительности, произрастание которой в значительной мере контролируется антропогенной деятельностью (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Сысо, 2003). В то же время биогеохимическая «работа» растений и антропогенная деятельность, связанные с возделыванием этих культур, должны сказываться на геохимическом облике городских почв (Белюченко, 2005; Alekseenko et al., 2015b; Alekseenko, Pashkevich, 2015).

Как видно из данных, приведенных в табл. 3.7, к почвам ландшафтов с фруктово-ягодной растительностью (развитой в секторе с одноэтажным частным жильем) приурочены максимальные, по сравнению с ландшафтами с другой растительностью, средние содержания 7 элементов: Ag, Ba, Zn, Sn, Mo, Ni, Cr.

Таблица 3.7

Содержание химических элементов (мг/кг) в почвах ландшафтов
при меняющихся растительных сообществах и геоморфологических условиях

Элементы	ЛАНДШАФТЫ								
	Пустыри			Промышленная зона			С различной растительностью		
	Трансэлювиальные	Трансаккумулятивные	Трансупераккумулятивные	Трансэлювиальные	Трансаккумулятивные	Трансупераккумулятивные	Фруктово-ягодной	Смешанной	Декоративной (парк)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cu	$\frac{53}{40 - 80}^*$	$\frac{50}{40 - 60}$	$\frac{49}{30 - 60}$	$\frac{69}{20 - 400}$	$\frac{50}{30 - 60}$	$\frac{56}{20 - 500}$	$\frac{84}{30 - 600}$	$\frac{88}{30 - 300}$	$\frac{74}{30 - 300}$
Zn	$\frac{53}{20 - 200}$	$\frac{64}{30 - 100}$	$\frac{95}{30 - 800}$	$\frac{77}{30 - 400}$	$\frac{106}{30 - 150}$	$\frac{137}{30 - 1500}$	$\frac{265}{30 - 3000}$	$\frac{143}{30 - 400}$	$\frac{113}{30 - 600}$
Pb	$\frac{27}{10 - 100}$	$\frac{29}{15 - 50}$	$\frac{44}{15 - 5000}$	$\frac{50}{15 - 100}$	$\frac{86}{20 - 150}$	$\frac{81}{15 - 2000}$	$\frac{92}{30 - 1500}$	$\frac{101}{20 - 500}$	$\frac{60}{20 - 150}$
Ag	$\frac{0,06}{0,05 - 0,1}$	$\frac{0,07}{0,05 - 0,1}$	$\frac{0,1}{0,05 - 0,6}$	$\frac{0,14}{0,06 - 0,15}$	$\frac{0,1}{0,06 - 0,15}$	$\frac{0,15}{0,05 - 1,5}$	$\frac{0,19}{0,5 - 3}$	$\frac{0,13}{0,5 - 0,05}$	$\frac{0,16}{0,05 - 0,2}$
Sn	$\frac{3,9}{3 - 5}$	$\frac{3,6}{3 - 4}$	$\frac{4,4}{3 - 40}$	$\frac{4,9}{4 - 50}$	$\frac{14,2}{4 - 50}$	$\frac{6,4}{3 - 50}$	$\frac{6,9}{5 - 30}$	$\frac{5}{5 - 15}$	$\frac{5,4}{4 - 20}$
Mo	$\frac{1,2}{1 - 3}$	$\frac{1,3}{1 - 2}$	$\frac{1,5}{1 - 3}$	$\frac{1,7}{1 - 3}$	$\frac{1,9}{1 - 3}$	$\frac{2,2}{5 - 15}$	$\frac{2}{1 - 5}$	$\frac{1,8}{1 - 20}$	$\frac{1,6}{1 - 10}$
Ba	$\frac{610}{500 - 1000}$	$\frac{580}{500 - 600}$	$\frac{640}{500 - 1500}$	$\frac{600}{400 - 800}$	$\frac{700}{500 - 800}$	$\frac{740}{300 - 8000}$	$\frac{760}{300 - 3000}$	$\frac{750}{500 - 1500}$	$\frac{680}{500 - 2000}$
Co	$\frac{10}{5 - 15}$	$\frac{13}{10 - 15}$	$\frac{16}{10 - 20}$	$\frac{17}{10 - 20}$	$\frac{13}{6 - 20}$	$\frac{15}{6 - 30}$	$\frac{16}{6 - 20}$	$\frac{19}{10 - 50}$	$\frac{17}{6 - 30}$
Ni	$\frac{26}{10 - 30}$	$\frac{24}{20 - 30}$	$\frac{33}{15 - 50}$	$\frac{36}{20 - 50}$	$\frac{38}{20 - 50}$	$\frac{32}{10 - 100}$	$\frac{36}{10 - 50}$	$\frac{35}{20 - 60}$	$\frac{35}{20 - 50}$
Mn	$\frac{1210}{600 - 1500}$	$\frac{1260}{800 - 1500}$	$\frac{1210}{800 - 2000}$	$\frac{1310}{800 - 2000}$	$\frac{1160}{800 - 2000}$	$\frac{980}{400 - 2000}$	$\frac{1060}{400 - 3000}$	$\frac{1150}{500 - 1500}$	$\frac{1110}{500 - 2000}$

Продолжение таблицы 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ti	$\frac{3190}{2000 - 4000}$	$\frac{3200}{3000 - 4000}$	$\frac{3570}{2000 - 5000}$	$\frac{4180}{2000 - 5000}$	$\frac{3800}{3000 - 4000}$	$\frac{3650}{2000 - 5000}$	$\frac{3580}{2000 - 6000}$	$\frac{3840}{3000 - 5000}$	$\frac{3730}{2000 - 5000}$
V	$\frac{64}{30 - 100}$	$\frac{66}{50 - 80}$	$\frac{72}{40 - 100}$	$\frac{69}{40 - 100}$	$\frac{58}{40 - 80}$	$\frac{60}{30 - 80}$	$\frac{63}{30 - 100}$	$\frac{65}{30 - 100}$	$\frac{78}{40 - 100}$
Cr	$\frac{73}{30 - 100}$	$\frac{74}{20 - 100}$	$\frac{95}{50 - 150}$	$\frac{95}{80 - 150}$	$\frac{106}{80 - 150}$	$\frac{108}{30 - 500}$	$\frac{105}{30 - 600}$	$\frac{85}{30 - 100}$	$\frac{103}{50 - 400}$
Ga	$\frac{12}{10 - 20}$	$\frac{12}{10 - 15}$	$\frac{13}{5 - 20}$	$\frac{13}{5 - 20}$	$\frac{12}{6 - 20}$	$\frac{12}{5 - 20}$	$\frac{12}{5 - 20}$	$\frac{13}{6 - 15}$	$\frac{13}{5 - 20}$
P	$\frac{540}{300 - 600}$	$\frac{480}{400 - 600}$	$\frac{550}{300 - 800}$	$\frac{580}{300 - 1000}$	$\frac{540}{400 - 600}$	$\frac{700}{300 - 2000}$	$\frac{960}{400 - 5000}$	$\frac{960}{400 - 2000}$	$\frac{670}{300 - 1500}$
Li	$\frac{40}{30 - 50}$	$\frac{38}{30 - 50}$	$\frac{44}{30 - 60}$	$\frac{39}{30 - 60}$	$\frac{41}{40 - 60}$	$\frac{32}{30 - 60}$	$\frac{34}{30 - 60}$	$\frac{33}{30 - 60}$	$\frac{46}{30 - 60}$
Sr	$\frac{820}{400 - 1500}$	$\frac{800}{400 - 1000}$	$\frac{660}{300 - 1000}$	$\frac{610}{300 - 1000}$	$\frac{640}{400 - 1000}$	$\frac{560}{300 - 1500}$	$\frac{590}{300 - 1000}$	$\frac{800}{300 - 1500}$	$\frac{680}{300 - 1000}$
Y	$\frac{16}{10 - 20}$	$\frac{16}{15 - 20}$	$\frac{15}{8 - 20}$	$\frac{18}{8 - 20}$	$\frac{14}{6 - 20}$	$\frac{14}{6 - 20}$	$\frac{15}{5 - 20}$	$\frac{16}{8 - 20}$	$\frac{16}{6 - 20}$
Yb	$\frac{1,5}{1 - 2}$	$\frac{1,4}{1 - 2}$	$\frac{1,4}{1 - 2}$	$\frac{1,7}{1,5 - 3}$	$\frac{1,5}{1,5 - 2}$	$\frac{1,4}{1 - 3}$	$\frac{1,6}{1 - 3}$	$\frac{1,8}{1 - 3}$	$\frac{1,7}{1 - 2}$
Nb	$\frac{9}{6 - 15}$	$\frac{9}{6 - 10}$	$\frac{11}{6 - 20}$	$\frac{11,1}{8 - 20}$	$\frac{10,6}{10 - 15}$	$\frac{10,3}{6 - 20}$	$\frac{10,7}{6 - 15}$	$\frac{11,5}{10 - 15}$	$\frac{11,8}{6 - 20}$
Sc	$\frac{5,6}{4 - 10}$	$\frac{5,4}{4 - 8}$	$\frac{6,9}{4 - 10}$	$\frac{7,5}{4 - 10}$	$\frac{8,4}{4 - 10}$	$\frac{6,5}{3 - 10}$	$\frac{6,7}{3 - 10}$	$\frac{7,2}{5 - 10}$	$\frac{7,9}{5 - 10}$
Zr	$\frac{98}{80 - 150}$	$\frac{100}{50 - 100}$	$\frac{104}{80 - 150}$	$\frac{109}{60 - 150}$	$\frac{110}{60 - 150}$	$\frac{102}{50 - 200}$	$\frac{102}{50 - 150}$	$\frac{118}{50 - 200}$	$\frac{109}{50 - 150}$

* Примечание: в числителе – среднее содержание в почвах; в знаменателе – минимальное и максимальное содержания в отдельных пробах.

Для части элементов такие содержания должны быть связаны именно с возделыванием сельскохозяйственных культур и с их ролью в городском биологическом круговороте. Уточнить это положение можно, сравнивая средние содержания элементов в почвах всех ландшафтов с одноэтажной застройкой (без учета растительности) с содержаниями в почвах одноэтажных ландшафтов с фруктово-ягодной растительностью (табл. 3.7). В последних значительно повышены средние содержания Cu, Zn, Ba, Sr, Ni, Sc.

С большой степенью достоверности можно считать, что высокие средние содержания этих элементов связаны именно с возделыванием фруктово-ягодных растений. Этим же процессом следует объяснить и более равномерное распределение всех рассматриваемых элементов (за исключением Ba) в почвах ландшафтов с фруктово-ягодной растительностью, по сравнению с почвами одноэтажных ландшафтов без учета растительности. Об этом свидетельствуют соотношения между максимальными и минимальными содержаниями в отдельных пробах (табл. 3.7). Для объяснения последнего явления следует добавить то, что участки с плодово-ягодными культурами освоены довольно давно, завоз стройматериалов (а, следовательно, и появление интенсивных точечных загрязнителей) в них в настоящее время практически не проводится, а опрыскивание растений различными химреактивами и внесение удобрений способствуют сравнительно равномерному распределению элементов (Алексеев, 2006).

Более высокие средние содержания в почвах ландшафтов с одноэтажной застройкой (без учета растительности) Ag, Sn, Ti, V, Cr, Nb (табл. 3.7), можно считать, в основном, результатом антропогенной деятельности, не включающей возделывание растений и рассмотренных ранее геоморфологических факторов.

Сравнение средних содержаний элементов в почвах ландшафтов с различной растительностью показывает, что в ландшафтах со смешанной растительностью наибольшие средние содержания встречаются чаще. Они характерны для 8 элементов: Cu, Pb, Co, Mn, Ti, Sr, Zn, Yb. В почвах парков их всего 4: V, Sc, Li, Nb. Эту особенность городских почв (как и наименьший разброс содержаний элементов в отдельных пробах) можно объяснить, кроме особенностей биологического круговорота элементов, наименьшей техногенной нагрузкой на ландшафты парков.

Таким образом, установлено влияние городской растительности (особенностей биологического круговорота и способов выращивания растений в условиях населенных пунктов) на концентрацию и равномерность распределения в почвах

практически всех рассмотренных химических элементов. При этом следует учитывать, что такое влияние городской растительности на почвы в деталях может изменяться в зависимости от интенсивности и особенностей техногенеза.

3.2.5 Экологическая опасность загрязнения почв

Установленные в России санитарно-гигиенические нормативы были использованы в качестве критериального уровня при оценке экологической опасности загрязнения почвенного покрова. Расчет показал, что максимальные превышения ПДК/ОДК в отдельных точках доходят до значений $As_{50}Pb_{19}Zn_9Cu_2$. При этом, на долю территории с превышением ПДК/ОДК химических элементов в почвах агломерации (рис. 3.18) приходится от менее чем 30 % (Cu, Zn) до 62 % (Pb) и 100 % (As).

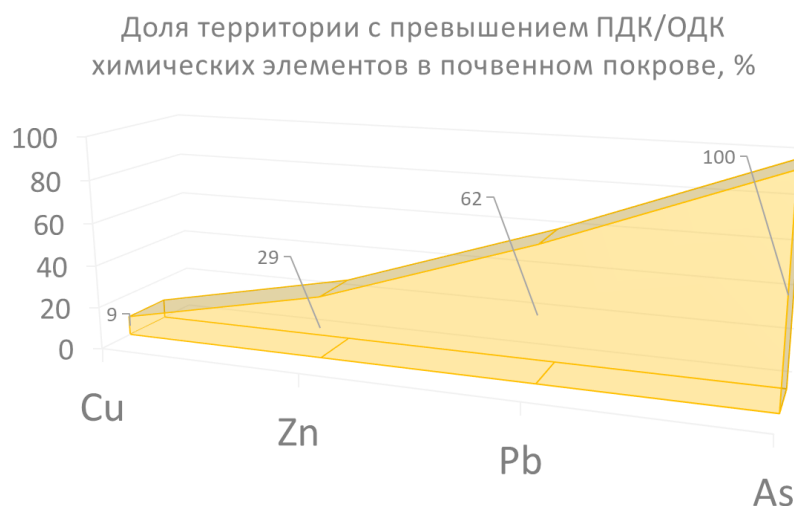


Рис. 3.18. Характеристика превышения санитарно-гигиенических нормативов содержаний химических элементов в почвах Новороссийской агломерации

Появление As в ряду элементов, представляющих угрозу окружающей среде и здоровью человека и повсеместное превышение допустимого уровня его концентрации обусловлено повышенным региональным фоном, что было отмечено при построении геохимического спектра относительно кларка верхней части континентальной земной коры по Н.А. Григорьеву (рис. 3.13). В сравнении же с местными ненарушенными лесными ландшафтами, данный металлоид не накапливается в городских почвах.

Для комплексной эколого-геохимической оценки состояния окружающей среды с использованием данных о большем числе элементов, проведен расчет интегрального показателя загрязнения (ИПЗ), показавший, что более 50 % всей исследуемой

территории (около 30 км²) характеризуются умеренно-опасным и опасным уровнями загрязнения почв (рис. 3.19). Данные об уровнях ИПЗ дополняют информацию о суммарном показателе загрязнения Z_c , величины которого не превышают 32, что соответствует умеренно-опасному уровню загрязнения (расчитанные значения ИПЗ и Z_c для всех точек опробования приведены в приложении Б).

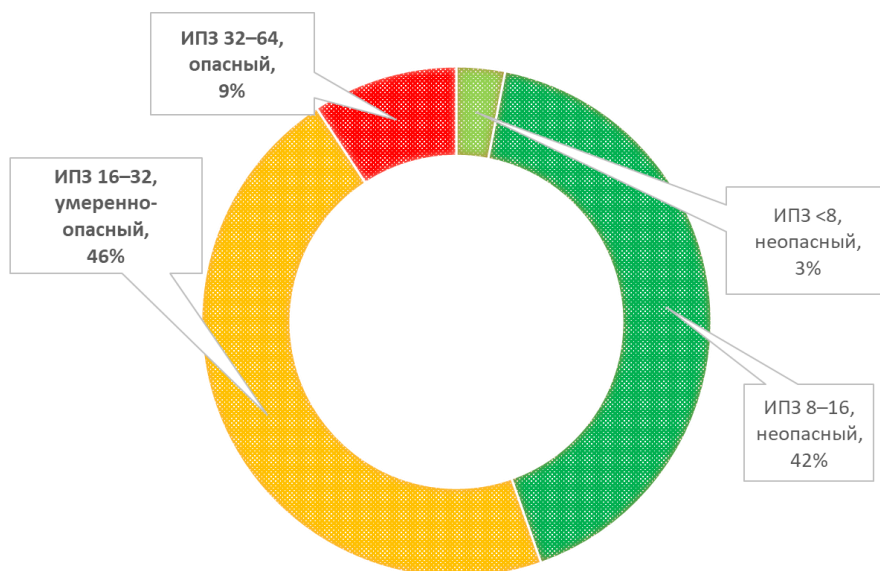


Рис. 3.19. Распределение площадей (%) с различными уровнями ИПЗ в почвах Новороссийской промышленной агломерации

Оценка степени экологической опасности аккумуляции поллютантов с формированием полиэлементных техногенных геохимических аномалий Pb, Zn, Cu, Ba и Sr позволяет провести расчет накопленного экологического ущерба почвенному покрову исследуемой территории.

3.2.6 Определение накопленного экологического ущерба

Исчисление в стоимостной форме размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды (Методика..., 2014), осуществляется по формуле (3.1):

$$УЩ = УЩ_{загр} + УЩ_{отх} + УЩ_{порч}, \quad (3.1)$$

где: $УЩ_{загр}$ – размер вреда при загрязнении почв (Р); $УЩ_{отх}$ – размер вреда в результате несанкционированного размещения отходов производства и потребления (Р); $УЩ_{порч}$ – размер вреда при порче почв в результате самовольного (незаконного) перекрытия

поверхности почв, а также почвенного профиля искусственными покрытиями и (или) линейными объектами (Р).

Исчисление в стоимостной форме размера вреда при загрязнении почв (Р) осуществляется по формуле (3.2):

$$\text{УЩ}_{\text{загр}} = \text{СЗ} \times \text{S} \times \text{K}_r \times \text{K}_{\text{исх}} \times \text{T}_x, \quad (3.2)$$

где: СЗ – степень загрязнения; S – площадь загрязненного участка, м² (площадь полиэлементной геохимической аномалии в почвах жилой зоны Новороссийской промышленной агломерации составляет 5 км², то есть 5 000 000 м²); K_r – показатель, зависящий от глубины загрязнения или порчи почв, рассчитывается в соответствии с фактической глубиной загрязнения или порчи почв. При глубине загрязнения или порчи почв до 20 см (K_r) принимается равным 1; до 50 см – равным 1,3; до 100 см – равным 1,5; до 150 см – равным 1,7; более 150 см – равным 2,0 (загрязнение почв жилой зоны Новороссийской промышленной агломерации достигает глубины 30 см, то есть K_r равен 1,3); K_{исх} – показатель, зависящий от категории земель и целевого назначения, на которой расположен загрязненный участок (для земель жилой зоны Новороссийской промышленной агломерации K_{исх} равен 1,3); T_x – такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды при загрязнении (Р/м²), на рассматриваемой территории горного Северо-Западного Кавказа сумма равна 700 Р/м².

Степень загрязнения зависит от соотношения фактического содержания i-го загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв. Соотношение (С) фактического содержания i-го загрязняющего вещества в почве к нормативу качества окружающей среды для почв определяется по формуле (3.3):

$$C = \sum_{i=1}^n X_i / X_n, \quad (3.3)$$

где: X_i – фактическое содержание i-го загрязняющего вещества в почве (мг/кг); X_n – норматив качества окружающей среды для почв (мг/кг). В качестве значения X_n применены концентрации загрязняющих веществ на сопредельной территории аналогичного целевого назначения и вида использования, не испытывающей негативного воздействия от горнопромышленной деятельности – в лесных ландшафтах Северо-Западного Кавказа. При значении (С) менее 5, СЗ принимается равным 1,5; при значении (С) в интервале от 5 до 10 – равным 2,0; при значении (С) в интервале от более 10 до 20 – равным 3,0; при значении (С) в интервале от более 20 до 30 – равным 4,0; при значении (С) в интервале от более 30 до 50 – равным 5,0; при значении (С) более 50 СЗ принимается равным 6,0.

Согласно проведенным исследованиям (Alekseenko, 2017; исходные данные приведены в приложении А), к ключевым загрязняющим элементам относятся Sr (среднее превышение фона в 2,5 раза), Zn (1,7), Pb (1,7), Cu (1,3), Ba (1,2), то есть величина (С) составляет 8,4 и значение СЗ равно 2,0.

Таким образом, $УЩ_{загр} = СЗ \times S \times K_{\Gamma} \times K_{исх} \times T_x = 2,0 \times 5\,000 \times 1,3 \times 1,3 \times 700 = 11,83$ млн Р.

Исчисление в стоимостной форме размера вреда в результате несанкционированного размещения отходов производства и потребления (Р) осуществляется по формуле (3.4):

$$УЩ_{отх} = \sum_{i=1}^n (M_i \times Totx) \times K_{исх}, \quad (3.4)$$

где: M_i – масса отходов с одинаковым классом опасности, т (общая масса отходов горного производства, накопленных в отвалах Новороссийской промышленной агломерации составляет 11 250 000 т, из расчета $50 \text{ м} \times 150\,000 \text{ м}^2 \times 1,5 \text{ т/м}^3$); n – количество видов отходов, сгруппированных по классам опасности в пределах одного участка, на котором выявлено несанкционированное размещение отходов производства и потребления; $T_{отх}$ – такса для исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту окружающей среды, при деградации почв в результате несанкционированного размещения отходов производства и потребления, Р/т (составляет 4 000 Р/т для скальных вскрышных пород в смеси V класса опасности).

Таким образом, $УЩ_{отх} = M_i \times T_{отх} \times K_{исх} = 11,25 \text{ млн Р} \times 0,004 \text{ млн Р/т} \times 1,3 = 58,5$ млн Р.

Исчисление в стоимостной форме размера вреда при порче почв в результате самовольного (незаконного) перекрытия поверхности почв, а также почвенного профиля искусственными покрытиями и (или) линейными объектами осуществляется по формуле (3.5):

$$УЩ_{порч} = S \times K_{\Gamma} \times K_{исх} \times T_x, \quad (3.5)$$

где: S – площадь участка, на котором обнаружена порча почв, м^2 (площадь перекрытой отвалами территории составляет 90 000 м^2).

Таким образом, $УЩ_{порч} = S \times K_{\Gamma} \times K_{исх} \times T_x = 150\,000 \text{ м}^2 \times 1,3 \times 1,3 \times 700 \text{ Р/м}^2 = 106,47$ млн Р.

В общей сложности, стоимостная форма размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды составляет:

$УЩ = УЩ_{загр} + УЩ_{отх} + УЩ_{порч} = 11,83 \text{ млн Р} + 58,5 \text{ млн Р} + 106,47 \text{ млн Р} = 176,8$ млн Р.

Расчетные величины ущерба почвенному покрову являются основой для оценки экономической целесообразности требующихся работ по снижению техногенной нагрузки отвалов на окружающую среду Новороссийской промышленной агломерации.

3.3 Загрязнение аквальных ландшафтов Цемесской бухты

Город Новороссийск является одним из ключевых транспортных центров Краснодарского края, однако функционирование Новороссийского морского торгового порта представляет экологическую опасность для акватории только в случае аварийных ситуаций. Тем не менее, все погрузочно-разгрузочные работы приводят к накоплению поллютантов в почвах, что косвенно является причиной загрязнения бухты. Загрязняющие вещества с суши поступают в море в виде поверхностных и подземных водных растворов, аэрозолей, и более крупных частиц, представляющих собой обломки отдельных минералов (Alekseenko et al., 2015a; Куриленко, Осмолковская, 2007). Одним из важнейших поставщиков материала в воды, разгружающиеся в море, являются почвы (Кропянко, Беспалова, 2010). С подземными и поверхностными водами из почв в море поступают не только растворимые соли, но и значительное количество коллоидных частиц с сорбированными ими веществами (Алексеенко, 2015a). 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. Суммарное техногенное воздействие различных источников загрязнения на экологическое состояние Цемесской бухты выражается в изменении концентраций химических элементов в водах и накоплении поллютантов в макрофитах.

Отбор образцов в акватории Новороссийской промышленной агломерации был проведен с учетом местных гидрологических условий. Донные отложения показали практическую значимость в оценке прошлого воздействия меняющихся городских условий на окружающую среду (Донченко и др., 2008; Опекунов, 2005; Лычагин и др. 2011). Такие работы позволяют лучше понять изменчивые во времени циклы миграции и аккумуляции элементов в городских ландшафтах и описывают общий поверхностный сток со всего городского водосборного бассейна. Применение устоявшихся методов геохимических исследований, таких как анализ колонок донных

отложений, позволяет понять функционирование городских экосистем и перейти к изучению более конкретных меняющихся процессов или проблем.

Цемесская бухта является незамерзающей и поступление загрязняющих веществ с суши на море происходит круглогодично. Образующийся в результате размыва берегов материал выносится за пределы прибрежных аквальных ландшафтов (Алексеевко и др., 2012). Именно эта особенность акватории с интенсивным перемешиванием вод, а также периодические дноуглубительные работы, делают затрудненной традиционную эколого-геохимическую оценку состояния аквальных ландшафтов, заключающуюся в анализе вод и донных отложений.

3.3.1 Общие сведения о водорослях региона

В прибрежной зоне в силу различных факторов создается особый режим, который резко отличается от гидрологического режима центральной части Черного моря. На особенности этого режима оказывают влияние и пресные воды берегового стока (уменьшение солености) и большое количество взвесей (нарушение прозрачности), и резкие колебания температуры воды. Именно в этой зоне (на глубинах до 50 м) произрастает подавляющее большинство водной растительности. Наиболее чувствительными к изменению химического состава окружающей среды являются бурые и зеленые водоросли (рис. 3.20): энтероморфа – *Enteromorpha intestinalis* и цистозира – *Cystoseira barbata* (Алексеевко, Власова, 2015).



Рис. 3.20. Исследованные виды водорослей в Цемесской бухте, слева направо: *Enteromorpha intestinalis* и *Cystoseira barbata* (Алексеевко и др., 2012).

По мере возрастания степени загрязнения воды наблюдается тенденция увеличения количества видов зеленых водорослей. Для их нормального развития требуется присутствие в воде определенного количества органических веществ (Алексеев, Пашкевич, 2015а). Бурые водоросли очень плохо переносят загрязнение. Меньше всего их в затишных бухтах и у стоков различного происхождения. Максимальное их число отмечено на выходе из бухт и у открытого побережья моря (Громов, Афанасьев, 2001).

3.3.2 Выделение экологически неблагоприятных зон

Установленные концентрации большей части исследованных элементов в золе цистозеры и энтероморфы, произрастающих в зонах влияния биогенных наземных ландшафтов ниже, чем в зонах влияния техногенных. Наибольшие средние содержания отмечены в точках наблюдения районов разгрузки городских очистных сооружений (пос. Алексино) и в районе мола, испытывающем наибольшее воздействие соосажающихся выбросов цементного завода.

Для цистозеры западного биогенного побережья в целом характерны наименьшие содержания всех рассматриваемых элементов за исключением Мо. Восточное биогенное побережье характеризуется несколько более высокими содержаниями элементов по сравнению с западным биогенным участком. Концентрации пяти элементов – Cu (41,7 мг/кг), Zn (48,3), Pb (10,3), Co (6,5), Cr (1,0) ниже, чем у цистозеры, отобранной в зонах влияния техногенных ландшафтов (табл. 3.8, приложение Ж).

Таблица 3.8

Средние содержания элементов в золе водорослей *Cystoseira barbata* в Цемесской 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

При этом среднее содержание Ва (466,7 мг/кг) является максимальным для всех выборок, а концентрации Ni, V, Sn, Mo, Mn, Ti близки к величинам, характерным для прибрежной полосы г. Новороссийска (Пашкевич, Алексеенко, 2016). Таким образом, даже на побережье с лесными ландшафтами при отсутствии прямого техногенного воздействия сохраняется влияние осаждающихся из воздуха поллютантов. Поскольку отвалы расположены на восточном берегу бухты, повышенные содержания металлов в водорослях могут быть связаны с влиянием процессов пыления.

3.3.3 Мониторинг загрязнения

При анализе средних содержаний элементов в золе цистозеры в пробах разных лет выявлены некоторые закономерности их изменения. Данные мониторинговых изысканий предыдущих лет основаны на работах НИИ Геохимии биосферы (г. Новороссийск).

Для Cu, Cr, Ni, Mo отмечены пики уровней содержаний в 2000 и 2009 годах, для Mn, Ti, Zn – только в 2009 году, а для Pb – только в 2000. Незначительное увеличение среднего содержания V в золе цистозеры отмечено в 2004 году. На этом же уровне оно сохраняется и в пробах 2009 года. Увеличение содержаний в пробах 2004 года характерно также и для Sn.

Для Ba и Co, в отличие от рассмотренных выше элементов не прослеживается явно выраженная тенденция изменения содержаний. В разные годы средние содержания этих элементов в золе цистозеры изменяются скачкообразно. При этом выборки 2009 года по средним содержаниям резко отличаются от результатов прошлых лет: для Ba отмечено резкое (почти в 2 раза) падение, а для Co – резкое (более чем в 2 раза) увеличение содержаний.

При проведении статистических расчетов был установлен 5 % уровень значимости результатов. С учетом этой вероятностной характеристики, были более подробно рассмотрены изменения, отмеченные для каждого элемента. Средние содержания Mn и Cu в пробах разных лет различаются незначительно и колеблются на уровне 550 и 40 мг/кг, соответственно. Изменения средних содержаний Ba и Co в период 1999–2004 гг. также не имеют статистически значимых различий (колебания на уровне 600 и 2,5 мг/кг, соответственно) и только средние содержания, полученные по результатам опробования 2009 года имеют значительные отличия (уменьшение содержания Ba до 400 мг/кг и увеличение Co до уровня 6,0 мг/кг).

Для Pb, Cr, Ni и V характерны наиболее высокие содержания в пробах 1999 и 2000 годов (табл. 3.9). К 2002 году происходит резкое (в 2 раза) уменьшение содержаний элементов в золе рассматриваемого вида водоросли. Этот уровень содержаний (для каждого элемента – свой) сохраняется до 2009 года. Лишь для Cr выявлен минимум содержаний в пробах 2004 года.

Таблица 3.9

Средние содержания Pb, Cr, Ni, V (с вероятностью 95 %) в золе водорослей *Cystoseira barbata* в Цемесской бухте, мг/кг

Год опробования	Химический элемент			
	Pb	Cr	Ni	V
1999	42,2±10,4	51,1±12,5	36,5±5,4	14,7±3,3
2000	46,1±13,0	58,5±7,6	45,9±5,7	11,5±1,1
2001	19,4±4,2	19,3±3,0	21,6±3,0	7,3±1,5
2002	12,0±2,0	13,5±3,0	19,1±2,0	6,3±1,1
2004	11,5±1,8	6,0±1,8	15,1±3,0	7,0±2,0
2009	10,2±3,0	7,5±2,4	22,8±6,0	7,0±3,0

Для Ti и Zn характерно наиболее высокое содержание в пробах 1999 года: 1344 и 221 мг/кг, соответственно. Произошедшее уменьшение концентраций в пробах 2000 и 2001 годов (для Ti) и в пробах 2000–2002 годов (для Zn) практически нивелировалось при резком повышении содержаний, отмеченном в пробах 2009 года. При этом Mo – единственный из рассмотренных элементов, средние содержания которого в выборках от года к году изменяются статистически значимо. При сохранении общей тенденции к уменьшению средних содержаний, их изменения, характерные для данного металла, происходят более резко – «всплеск» до 2,3 мг/кг в пробах 2000 года, затем уменьшение содержания до уровня 1999 года в пробах 2001 (1,3 мг/кг), дальнейшее последовательное уменьшение в пробах 2002 (0,6 мг/кг) и 2004 (0,4 мг/кг) годов и новый скачок – в 2009 году практически вновь до уровня 1999 и 2001 года (1,1 мг/кг).

Таким образом, на основании полученных данных, можно говорить о сохранявшейся на протяжении 1999–2004 годов тенденции уменьшения средних содержаний большинства исследованных элементов в золе цистозеры и повышении уровня содержаний к 2009 году. Мониторинговые исследования показали, что на протяжении 2001–2004 годов в бухте происходили процессы, приведшие к снижению уровня содержаний большинства исследованных элементов в золе цистозеры (Пашкевич и др., 2015).

Максимальные содержания большей части элементов отмечены в пробах, характеризующих акваторию пос. Алексино и центральную часть бухты – побережье г. Новороссийска. Аквальные ландшафты на этих участках испытывают наибольшее воздействие соосажденных из воздуха поллютантов, поступающих с водным стоком. Наименьшие концентрации металлов характерны для проб, отобранных в зонах влияния биогенных ландшафтов лесов, однако и на этих участках прослеживается воздействие выбросов цементного завода и иных промышленных предприятий.

Биогеохимический мониторинг 1999–2009 гг. с использованием цистозирры (*Cystoseira barbata*) выявил общую тенденцию к уменьшению средних содержаний большинства рассмотренных элементов в период до 2004 г. и возрастание содержаний к 2009 г. При наличии общей тенденции, аккумуляция в водорослях различных металлов имеет свои особенности. При этом наиболее низкие средние содержания элементов в пределах акватории города постоянно остаются на уровне, превышающем содержания, характерные для водорослей в зонах влияния биогенных лесных ландшафтов.

3.4 Риск селеобразования

3.4.1 Условия формирования селевого потока

Южные склоны Маркотхского хребта довольно круты. Протяженность ряда балок, начинающихся на перевале и захватывающих автомобильную и железную дороги, а также часть самого города, превышает 4 км. Площадь водосбора балок превышает 3 км² (рис. 3.21). Все это создает определенные геоморфологические предпосылки для формирования селевых потоков (Чернявский, Ефремов, 2010). Они представляют собой бурные грязекаменные потоки, обладающие огромной разрушительной силой. В составе селей обычно обломки составляют до 50–70 % объема потока, вода – до 30 %, а рыхлые образования, образующие грязевую составляющую, могут занимать до 40 % (Баринов, 2009). В мире известны катастрофические разрушения с многочисленными жертвами и огромным экономическим ущербом, вызванные сходом селевых потоков. На Северо-Западном Кавказе, в соседнем Сочинском районе только в последние годы селями была разрушена железная дорога, что также привело к большим материальным потерям. В районе г. Новороссийска они могут быть гораздо более значительными (Ефремов, Чернявский, 2009).

Однако одних геоморфологических предпосылок для установления потенциальной возможности схода селевого потока еще мало. Необходимо достаточное количество всех компонентов, составляющих грязекаменный поток, воды, рыхлого материала и каменной составляющей. Только в этом случае, естественно, при наличии других предпосылок, можно прогнозировать возникновение селя. Расположение рассматриваемого района на границе зоны сухих субтропиков делает весьма важной проблему возникновения на небольшой площади большого количества воды за относительно короткий промежуток времени. Анализ многолетних наблюдений за осадками в Новороссийском районе (рис. 1.6) позволяет сделать вывод, что наибольшее их количество, а соответственно и увеличение риска сходов селевых потоков, приходится на январь, февраль, ноябрь и декабрь.

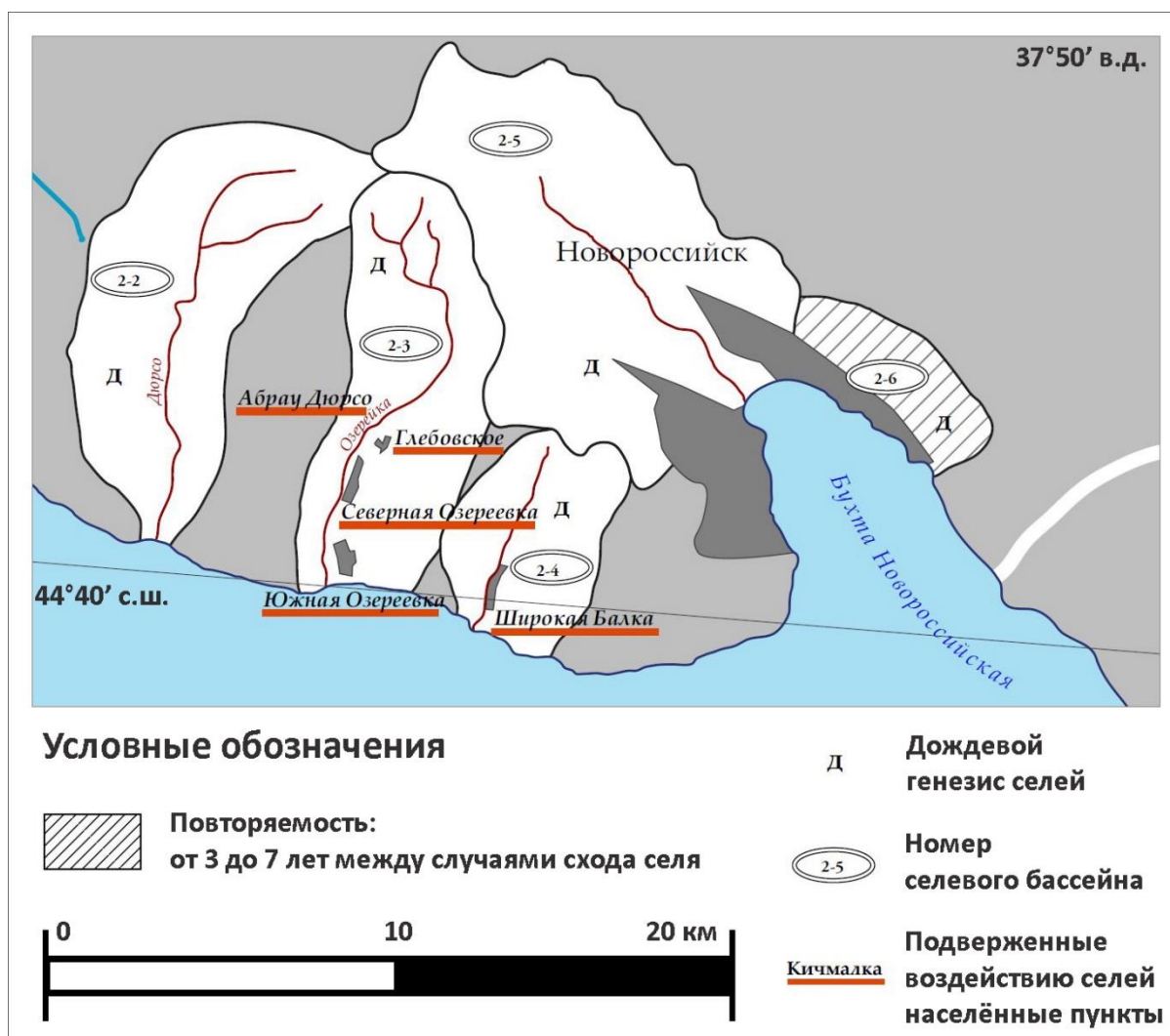


Рис. 3.21. Фрагмент карты селевых бассейнов Северного Кавказа (Перов и др., 2012)

Еще одним источником воды в потенциальном селевом потоке могут быть воды смерчей. Значительное количество смерчей образуется в летнее время, а часть смерчей выходит на сушу с «выбросом» больших объемов воды. Такие смерчи, зарождающиеся и проходящие значительные расстояния над морем, даже имеют особое название «waterspout». Иногда они не только переходят на сушу, но и снова возвращаются в море (Алексеев и др., 2008б). С выходом на сушу черноморские смерчи не теряют силу и могут проходить значительные расстояния в определенном удалении от моря.

В Новороссийском районе за последние десятилетия наиболее известным является выход смерча на сушу в 2002 г. в курортной зоне Широкая балка. Резкое повышение уровня воды в балке, где протекает малый ручей, привело к довольно крупной катастрофе с разрушением построек и человеческими жертвами. В целом, район Новороссийской агломерации является зоной повышенного риска селеобразования в масштабах всего Черноморского побережья Кавказа (табл. 3.10).

В Новороссийском районе грязевая составляющая потенциального селевого потока может формироваться в основном за счет почв и рыхлых образований, расположенных на коренных горных породах. Твердые вещества, необходимые для формирования грязекаменного потока, могут быть как природного, так и техногенного происхождения. Коренные горные породы в изучаемом районе представлены мергелями мелового возраста, образующими мощную флишевую толщу. В приповерхностной части они разбиты чрезвычайно многочисленными трещинами, что способствует их активному физическому выветриванию, разрушению и накоплению обломочного материала, который может стать частью твердой составляющей селевых потоков. Если в селевой поток войдут горные породы со всей площади водосбора на среднюю глубину всего 5 см, то при площади водосбора 3 км² образуется объем, равный 150 000 м³. Кроме того, природной твердой составляющей станут обломки горных пород, находящиеся в рыхлых отложениях, которые могут составить от 30 до 65 % объема рыхлых образований.

Особо следует отметить, что обломки мергелей имеют небольшой размер — от 1 до 8 см. Быстро разрушающиеся мелкие обломки, вынесенные селевым потоком на территории придомовых хозяйств, преобладающих в районах потенциального схода грязе-каменного потока, могут существенно изменить геохимические особенности почв приусадебных участков.

Таблица 3.10

Наиболее катастрофические случаи схода селевых потоков на Черноморском побережье Кавказа (Шныпарков и др., 2012)

Места схода селей	Дата	Сопутствующие природные явления, ущерб
Один из районов г. Новороссийска; Старошоссейная, Кольцовская, Краснозеленых, Нефтяная балки	02.09.1929	Засыпаны селевыми отложениями основные магистрали. Сумма выпавших осадков — 153 мм
Один из районов г. Новороссийска; балки южного склона Мархотского хребта	28.07.1931	Поврежден элеватор, нарушено водоснабжение, повреждены железнодорожные (ж/д) пути, нарушено ж/д сообщение. Засыпаны селевыми отложениями основные магистрали. Сумма выпавших осадков — 147 мм
Краснодарский край, г. Туапсе, р. Туапсе	Август 1945	Выход водяного смерча на сушу. Разрушено много домов, сорваны мосты, повреждены гидротехнические сооружения.
Краснодарский край, г. Туапсе, р. Туапсе	01.08.1991	Разрушено ж/д полотно, водопровод, газопровод, ЛЭП. Ширина потока достигала нескольких десятков метров, а высота подъема воды — 11–12 м. Погибло 30 человек. Пропало без вести 11 человек
Долина реки Цемесс, г. Новороссийск, Широкая балка	07.08.2002– 09.08.2002	Сумма выпавших осадков — 50,3 мм. Затоплены центральные улицы города. Смыт мост, разрушены многие дома и пансионаты на побережье
Краснодарский край, перегон Сочи — Туапсе	07.08.2002	Из-за сильных дождей между станциями Якорная щель и Чемитоквадже на перегоне Сочи — Туапсе сошел селевой поток, который разрушил 300 м железнодорожного полотна и повредил 4 опоры ЛЭП
Туапсинский район, ж/д перегон Туапсе — Сочи в районе станции Водопадный	21.06.2005	Сумма выпавших осадков — 120 мм. В 3:15 по московскому времени из-за длительных и обильных дождей произошел сход селевых масс с горного массива на железнодорожное полотно в момент прохождения грузового поезда. В результате сошли с рельсов 18 грузовых вагонов, три из которых были сброшены селем в море
Краснодарский край, Туапсинский район, участок Шепси — Водопадный	06.05.2011	Жертв и пострадавших в результате стихийного бедствия не было. На несколько часов было задержано движение пассажирских поездов
Краснодарский край, Красная Поляна, п. Эсто-Садок, ручей Рудничный	21.07.2011	За 3 часа, по данным метеостанции «Лаура», выпало 50 мм осадков. Основная часть осадков выпала за 40 минут. Занесена насосная станция. Жертв нет

Техногенной твердой составляющей в селевом потоке могут стать и отвалы карьеров по добыче мергеля. В настоящее время расстояние от отвалов до кромки обрыва составляет около 30 м. Этого вполне достаточно, чтобы в обычных условиях обломки практически не скатывались по склонам балок и не становились частью вероятного селевого потока. Однако в случае выхода на эту часть балок смерча или при продолжительных ливнях положение может измениться коренным образом и сотни кубических метров обломков могут устремиться с селевым потоком на город. Наличие таких обломков существенно увеличит разрушительную силу потока.

Таким образом, геоморфологическая, геологическая и климатическая характеристики территории расположения отвалов указывают на существующую угрозу возникновения селевого потока. Данная угроза требует оценки путем расчета величины риска с учетом вероятности катастрофы.

3.4.2 Оценка риска селя и его возможные последствия

Оценка опасности хранилищ отходов горнодобывающей промышленности и разработка оптимальных мероприятий по ее снижению с учетом всех факторов социально-экономического характера – одна из ключевых задач управления эколого-экономическим риском. При решении комплексных вопросов техногенной безопасности широко применяется методология риска, основу которой составляет определение последствий и вероятности нежелательных событий (Измалков, Измалков, 1998; Пашкевич и др., 2005) при чрезвычайных ситуациях (ЧС).

Проведенные работы по оценке состояния окружающей среды в Новороссийской промышленной агломерации (Краснодарский край) позволили описать совокупность угроз, представляемых хранилищами твердых отходов на примере сформированных в процессе разработки месторождения мергеля отвалов горного производства. В условиях отсутствия рекультивационных мероприятий, расположенные в городской черте отвалы представляют потенциальную опасность, как для индустриальной зоны, так и для жилых районов города.

Использованная методология определения экологического риска позволяет количественно оценить опасность хранилищ отходов горнодобывающей промышленности и, соответственно, уровень экономических затрат, необходимых для ее предотвращения. Суммарные затраты складываются из двух составляющих, связанных с экологическим риском складирования отходов: затрат на обеспечение экологической безопасности отвалов; эколого-экономического ущерба различным

компонентам природной среды. Каждый из указанных видов экономических затрат зависит от уровня ожидаемого техногенного воздействия, определенного в условиях воздействия на окружающую среду отвалов, находящихся в г. Новороссийске.

Насыпные техногенные массивы отходов добычи и переработки цементного сырья сформированы при отсыпке возникающих в ходе инженерной деятельности образований: вскрышных пород и некондиционного мергеля. Данный вид насыпных массивов включает отвалы и насыпи, занимающие площадь около 150 000 м², расположенные на склонах Маркотхского хребта в черте города Новороссийска. Характерными особенностями данных отвалов являются нарушенность структуры пород в теле насыпи, приводящая к пылению, а также попадание в гипергенные условия на поверхность земли сильнощелочных пород, создающих карбонатные геохимические барьеры (Пашкевич, 2000)

Поскольку выбор оптимального варианта расходов опирается на данные как об уже нанесенном эрозионными процессами ущербе, так и на расчетные величины, оценивающие возможный будущий экономический урон, возникает необходимость экспертной оценки существующей угрозы схода селя.

Технический риск схода селевого потока в Новороссийской промышленной агломерации зависит от ряда условий окружающей среды. Ключевым фактором риска является состояние самих отвалов. Незакрепленные откосы насыпей и невозможность самовосстановления растительного покрова без дополнительных мелиоративных мероприятий приводят к дождевой и ветровой эрозии, уже наносящей ежегодный ущерб до 250 Р на каждый квадратный километр прилегающей территории. При сочетании факторов незакрепленности поверхности насыпных массивов и возможности выхода на сушу смерча со сбросом забранной морской воды, возникает риск образования грязекаменного потока. По статистике, только в течение летнего периода на Черноморском побережье Кавказа образуется порядка $n \times 10$ смерчей. Частота выхода смерча на сушу не оценивалась отдельно, однако можно рассматривать такую ситуацию как происходящую с вероятностью не выше $n \times 10^{-3}$. Селевые потоки сходят на этой же территории в среднем 15 раз в течение одного года (Баринов, 2010; Шныпарков и др., 2012). Необходимо отметить, что причинами их могут быть не только сбросы воды смерчем (как при катастрофическом наводнении в 2002 г.), но и ежегодно происходящее на побережье выпадение ливневых атмосферных осадков (Баринов и др., 2011; Шуляков, Чернявский, 2008).

Рассматривая ситуацию селеобразования при выходе на сушу смерча, следует опираться на наиболее вероятные расчетные сценарии возникновения и развития ЧС.

I. При первом варианте событий сброс морской воды происходит в балке, обозначенной **A1** на рис. 3.22. 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.

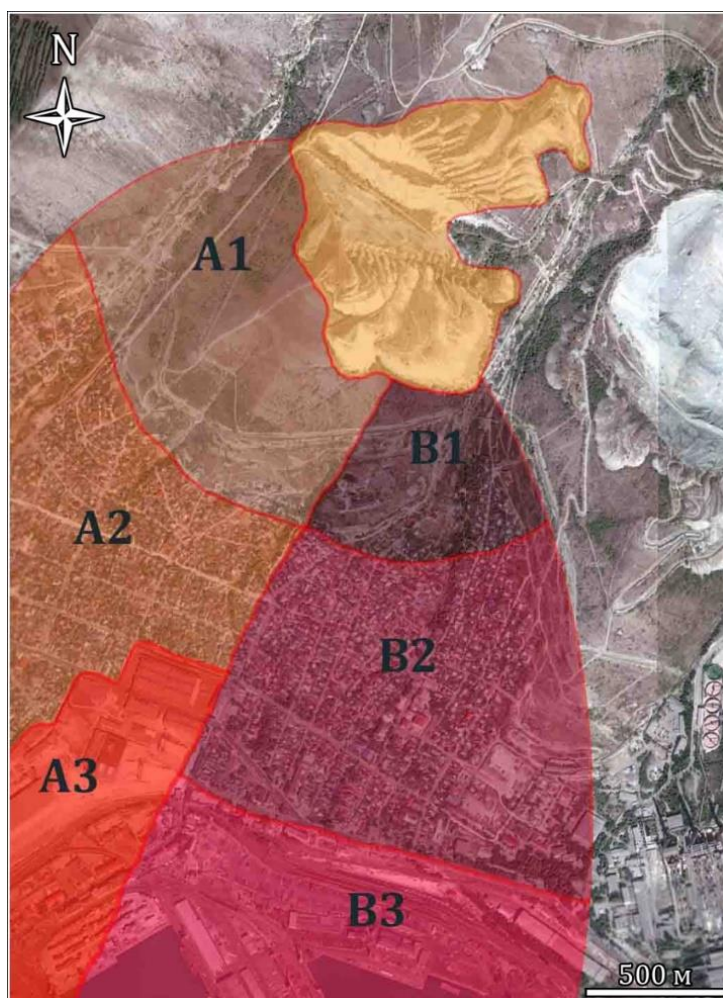


Рис. 3.22. Схема зонирования селеопасной территории, прилегающей к отвалам в Новороссийской промышленной агломерации (на основе космоснимка системы Yandex). Участки *A1–A3* и *B1–B3* являются территориями, находящимися в зоне риска схода селевого потока с насыпных массивов

II. 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.

Данные сведения позволяют рассчитать величину технического риска (Пашкевич и др., 2018; Мурзин, 2013; Полховская, Шевченко, 2012) схода селевого потока в Новороссийской промышленной агломерации по формуле (3.6):

$$R_t = \sum \sum \lambda_i \times P_{ij} \times Y_{ij}, \quad (3.6)$$

где R_t – величина технического риска в единицах среднегодового ущерба, Р/год;

$i = 1 \dots n$ – число расчетных сценариев возникновения и развития аварии;

$j = 1 \dots m$ – число видов воздействия поражающих факторов при реализации i -го сценария аварии;

λ_i – частота реализации i -го сценария возникновения и развития аварии, 1/год;

P_{ij} – вероятность реализации j -го вида воздействия (поражающего фактора) для i -го сценария;

Y_{ij} – размер ущерба материальным ресурсам, обусловленного реализацией j -го вида воздействия (поражающего фактора), Р

При обоих расчетных сценариях возникновения и развития ЧС, воздействие поражающих факторов представлено пятью подробно описанными выше видами j , наносящими максимальный ущерб Y :

1) отчуждение земель с ущербом от 100 млн Р (зона **A2** площадью 200 тыс. м²) до 150 млн Р (**B2**, 300 тыс. м²);

2) разрушение частных домов и подсобных хозяйств; ущерб от 900 до 1 350 млн Р;

3) уничтожение городской дорожной сети; ущерб от 20 до 25 млн Р;

4) нарушение целостности федеральной трассы и железной дороги; ущерб от 8 до 12 млн Р;

5) повреждение или снос портовых сооружений; ущерб от 600 до 800 млн Р

На территории **A1** вероятность схода селя P_{A1} составляет 30 %; в зоне **B1** величина P_{B1} равна 70 %. Расчет пропорции основан на соотношении объемов твердых отходов горного производства, размещенных на каждом из водосборных участков и являющихся источниками сносимого грязекаменного материала возможного селя.

При частоте схода селя, равной 15 ЧС в год в среднем для Черноморского побережья Кавказа, и выходе смерча с морской водой на сушу с вероятностью не выше $n \times 10^{-3}$ в течение года, частота реализации λ для обоих сценариев схода селя составляет $15 \times 10^{-3} = 0,015$ в год.

Таким образом, технический риск образования селевого потока на участке А1 составит: $R_{A1} = \sum \lambda_{A1} \times P_{A1} \times Y_{A1} = 0,015 \times 0,3 \times (100 \text{ млн} + 900 \text{ млн} + 20 \text{ млн} + 8 \text{ млн} + 600 \text{ млн}) = 7,33 \text{ млн Р}$

Риск схода селя с территории В1 может достигать величины $R_{B1} = \sum \lambda_{B1} \times P_{B1} \times Y_{B1} = 10,52 \text{ млн Р}$

Расчетная величина общего технического риска ($R_t = R_{A1} + R_{B1}$) образования селевого потока в Новороссийской промышленной агломерации составит 17,85 млн Р

Для разработки мероприятий по снижению опасности в зоне воздействия отвалов осуществляется многовариантное сравнение результатов оценки риска для рассматриваемой ситуации с соответствующими критериями (рис. 3.23). После этого сравнения находятся варианты снижения риска, каждый из которых оценивается с учетом затрат на его реализацию. Оценка вариантов является итеративной операцией, она повторяется до тех пор, пока не будет выбрано оптимальное решение.



Рис. 3.23. Схема процесса управления риском (Пашкевич и др., 2018)

Снижение риска техногенного воздействия хранилищ отходов на окружающую их среду может быть достигнуто рекультивационными мероприятиями, направленными на повышение защищенности природной среды и предотвращение возможного ущерба при наименее благоприятном сценарии развития ЧС. Выбор мероприятий обусловлен уровнем опасности отвалов, горно-геологическими условиями их формирования, а также количеством средств, выделяемых на снижение экологического риска.

3.4.3 Факторы угрозы отвалов окружающей среде

По результатам проведенных изысканий, в Новороссийской агломерации определено следующее множество факторов, принимаемых во внимание при классификации представляемых отвалами опасностей.

I. *Факторы воздействия источника опасности на природные среды (атмосферу, гидросферу, литосферу, биоту)*. Комплекс отвалов и насыпей является источником пыления, что обусловлено сдуванием тонких фракций элювия горных пород с незадернованной поверхности отвалов площадью около 150 000 м². Проведенные замеры концентрации пыли в атмосферном воздухе показали наибольшие значения в районе отвального хозяйства. Карбонатная пыль является природным сорбентом, накапливающим содержащиеся в атмосферном воздухе примеси и формируя в городской черте пылегазовую смесь с повышенными относительно фона концентрациями химических элементов – атмохимическую аномалию. Оседая из воздуха на территории города, поллютанты создают литохимические аномалии в почвенном покрове, являющимся накапливающей средой, из которой позже тяжелые металлы и металлоиды переходят в результате естественной миграции в растения. При поверхностном смыве загрязняющие вещества попадают из почв в акваторию города, где гидрохимическая аномалия неразрывно связана с биогеохимической (Moore, 2006): наряду с загрязнением вод Цемесской бухты, несколько видов водорослей аккумулируют в себе тяжелые металлы и металлоиды, представленные ассоциацией Cu–Zn–Pb–Co–Cr (Алексеев, 2017а; Пашкевич, Алексеев, 2015б). Кроме того, данный участок Черноморского побережья является зоной повышенной вероятности выхода смерчей с моря на сушу. Сброс забранной смерчем морской воды приводит к образованию селевых потоков. Находящиеся на бортах балок отвалы в такой ситуации представляют угрозу для нижерасположенных порта, нефтехранилища и береговых сооружений.

II. *Факторы воздействия на людей, их здоровье и жизнедеятельность.* Пыление отвалов представляет также прямую угрозу здоровью населения. Сдувание пыли во многом обусловлено преобладающими ветрами и новороссийской борой, при которой наиболее интенсивный перенос атмосферного воздуха происходит по направлению от промышленной зоны к жилой части города. Сорбирующая потенциально опасные загрязняющие вещества пыль оказывает прямое воздействие на органы дыхательной системы человека. В условиях засушливого климата территории г. Новороссийска, природное очищение воздуха выпадающими атмосферными осадками практически не происходит, что ухудшает медико-экологическую обстановку.

III. *Социально-экономические факторы, проявляющиеся в воздействии источника опасности на социальную среду и экономику.* Район расположения отвалов является непривлекательным для потенциальных инвестиций, поскольку неблагоприятная экологическая обстановка и нестабильные геомеханические условия отвалов представляют угрозу для объектов инфраструктуры. При размещении отвалов в целом сократились площади земель, пригодных для сельскохозяйственного использования, произошло изменение природного ландшафта, началось развитие эрозионных процессов и снижение продуктивности прилегающих земель. В результате этого, значительные площади одного из районов города, расположенных вблизи автомобильных и железных дорог, а также порта, оказались отведенными исключительно под малоэтажную частную застройку при неразвитой здесь городской инфраструктуре.

IV. *Факторы психологического воздействия на население, обусловленные присутствием источника опасности.* Несомненное воздействие на здоровье населения и социально-экономическую обстановку выразилось в ухудшении психологического состояния жителей района, прилегающего к отвальному хозяйству. Сочетание потенциальной угрозы схода селевого потока, постоянного загрязнения атмосферного воздуха и нарушенного ландшафта, потерявшего свою эстетическую ценность, в целом негативно влияет на психологическое здоровье горожан.

V. *Экономические затраты на установление и поддержание риска на приемлемом социально осознанном уровне.* Затраты складываются как из причиненного эколого-экономического ущерба различным компонентам природной среды, так и из расходов на обеспечение экологической безопасности отвалов. По мере нарастания фактического техногенного воздействия, оказываемого на Новороссийскую промышленную агломерацию, увеличиваются экономические затраты на компенсацию

нанесенного ущерба. Чем больше потенциальный ущерб, который может возникнуть из-за происходящего выдувания пыли и возможного схода селя, тем больше и экономические затраты на его предотвращение и обеспечение необходимого безопасного уровня риска.

3.5 Выводы

Сформированные в условиях сухого субтропического климата и высоких значений рН почв при добыче цементного сырья нерекультивированные отвалы изменяют экологическую обстановку при пылении, влияя на формирование полиэлементных техногенных геохимических аномалий Pb, Zn, Cu, Ba и Sr площадями до 5 км², с суммарным загрязнением почвенного покрова, достигающим высокого уровня. Отвалы воздействуют на окружающую среду (атмосферный воздух, почвенный покров, водные экосистемы), людей (их здоровье и жизнедеятельность), а также социально-экономическую и психологическую обстановку. При этом, определенный накопленный экологический ущерб, нанесенный почвенному покрову, составляет 176,8 млн Р. Расчетная величина общего технического риска образования селевого потока с учетом вероятности катастрофы в Новороссийской промышленной агломерации может достигать до 17,85 млн Р.

Выполненная оценка эколого-экономического риска позволяет рассмотреть совокупность угроз, представляемых хранилищами вскрышных пород и некондиционного мергеля. В условиях отсутствия самозарастания, расположенные в Новороссийской промышленной агломерации отвалы представляют потенциальную опасность как для индустриальной зоны, так и для жилых районов города. Полученные данные и проведенное ранжирование территории по степени испытываемой угрозы селеобразования всесторонне характеризуют состояние окружающей среды горнопромышленной агломерации, а также позволяют проводить разработку мероприятий по его улучшению с применением различных подходов к инженерной защите окружающей среды, таких как техническая и биологическая рекультивации.

Глава 4 Снижение экологической опасности отвалов

Концепция устойчивого развития горной промышленности предусматривает необходимость ответственного землепользования и восстановления затронутых земель (Сорокин, 2016; Сао, 2007). Деятельность горнодобывающей промышленности оказывает значительное воздействие на окружающую среду, однако, технологическое развитие и изменения в методах управления на протяжении многих лет демонстрируют, что многих негативных последствий можно избежать, проводя работу по восстановлению экосистем после добычи полезных ископаемых (Maczkowiack et al., 2012). Законы и постановления государственных, региональных и местных органов власти во всем мире, требующие от горнодобывающих компаний обеспечения безопасности окружающей среды и возвращения нарушенных земель в приемлемое состояние, отражают возросшее беспокойство в обществе относительно экологических проблем. Тем не менее, некоторые методы восстановления техногенных ландшафтов показали свою неэффективность, так как не только не обеспечивали стабильное развитие экосистем, но и зачастую наносили экологический ущерб (Воробьев и др., 2010; Berger, 1990).

Горные работы нарушают состояние почвенного покрова, воздействуя на популяции почвенных микробов и циклы питательных веществ, имеющие решающее значение для поддержания здоровой экосистемы и, следовательно, приводя к деградации всего ландшафта. Образующиеся отвалы характеризуются рядом неблагоприятных факторов влияния на окружающую среду, таких как повышенная биодоступность металлов, пыление при недостатке влаги, уплотнение и относительно низкое содержание органических веществ. Отвалы могут также формировать кислотные воды при окислении сульфидсодержащих пород (Pashkevich, 2017). Также нерекультивированные отвалы представляют угрозу в связи с эрозией почвы, загрязнением атмосферного воздуха, поверхностных и грунтовых вод, уроном биоразнообразию, приводя, в конечном итоге, к экономическому ущербу (Пашкевич и др., 2005; Sheoran et al., 2008).

Рекультивация – комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и экономической ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды в соответствии с интересами общества. Долгосрочная рекультивация горнопромышленных территорий требует восстановления стабильных циклов питательных веществ для роста растений и микробиологических процессов (Артамонова и др., 2011; Kavamura, Esposito, 2010). Почва обеспечивает основу для

этих процессов, поэтому ее характеристики непосредственно влияют на будущую стабильность восстановленного сообщества растений. Восстановление растительного покрова на отвалах может привести к достижению целей закрепления, борьбы с загрязнением, визуального улучшения и устранения угроз для человека. Рекультивированная территория должна выполнять одну из основных задач экологической устойчивости, то есть сохранять возможность землепользования для будущих поколений.

Порядок проведения рекультивации после добычи полезных ископаемых определяется, прежде всего, государственным законодательством. В различных законодательных актах обычно требуется, чтобы земля, затронутая горнодобывающей деятельностью, была восстановлена до состояния, при котором неблагоприятные экологические, социальные и экономические последствия сводятся к минимуму, с тем чтобы поддерживать заранее согласованное конечное использование, выгодное для общества. Однако соблюдение этих законов и их применение отличаются в развитых и развивающихся странах. Например, «Закон об открытой разработке месторождений и рекультивации» в США требует от горнодобывающих компаний восстановления земель до состояния, позволяющего вернуться к использованию, проводившемуся до начала добычи (Sheoran et al., 2010). В соответствии с законом компания обязана предотвратить образование кислых стоков и эрозию для минимизации воздействия на близлежащие воды; своевременно рекультивировать землю; восстановить приблизительный исходный рельеф местности; высадить соответствующую растительность, покрывающую ранее нарушенную зону. Закон предоставляет гражданам право подавать письменные возражения против любой заявки на проведение горных работ и требовать организации публичных слушаний или проверки горных выработок. Управление по открытой разработке месторождений, рекультивации и правоприменению Министерства внутренних дел отвечает за осуществление этого закона. Схожим образом закон действует и в таких развитых горнодобывающих странах как Австралия, Канада и Германия. В Австралии «Закон об охране окружающей среды» гласит, что рекультивация после добычи должна проводиться с расчетом на заранее согласованный тип землепользования. В Южной Африке «Закон об освоении минеральных и нефтяных ресурсов» требует, чтобы любая деятельность по разведке или добыче ископаемых проводилась в соответствии с общепринятыми принципами устойчивого развития путем включения социальных, экономических и экологических факторов в планирование и осуществление работ, для

обеспечения использования минеральных ресурсов нынешним и будущим поколениям. В соответствии с этим законом, вместе с предоставлением права на разведку или добычу на компанию возлагается обязанность предотвращать загрязнение окружающей среды или деградацию земель до тех пор, пока министр не выдаст сертификат о закрытии соответствующего предприятия (Mborah et al., 2016)

Земельный кодекс Российской Федерации гласит: «Лица, деятельность которых привела к ухудшению качества земель (в том числе в результате их загрязнения, нарушения почвенного слоя), обязаны обеспечить их рекультивацию. Рекультивация земель представляет собой мероприятия по предотвращению деградации земель и (или) восстановлению их плодородия посредством приведения земель в состояние, пригодное для их использования в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием, в том числе путем устранения последствий загрязнения почв, восстановления плодородного слоя почвы, создания защитных лесных насаждений» (Земельный..., 2001).

4.1 Определение направления рекультивации

Отвалы в Новороссийской промышленной агломерации имеют определенный потенциал использования после проведения рекультивации, что неоднократно подтверждалось успешным введением в оборот аналогичных нарушенных земель в различных регионах мира (Сорокин, 2016; Cooke, Johnson, 2002; Doley et al., 2012). В целях выбора направления рекультивации необходимо проведение анализа альтернативных видов землепользования, способствующих поддержанию устойчивости создаваемой экосистемы и не нарушающие экологическое состояние окружающей среды. Приоритетами рекультивационного планирования являются:

(1) определение цели работ с учетом решаемой экологической проблемы, потребностей местного населения и экономической целесообразности;

(2) ранжирование гидрологических, геоморфологических, почвенных, биоценотических и прочих условий окружающей среды по первоочередности принятия мер;

(3) выбор показателей, по которым будет вестись мониторинг и оцениваться эффективность рекультивации в последующие годы.

Важнейшими факторами в планировании работ по восстановлению нарушенных земель являются скорость достижения цели, оправданность затрат и долгосрочная стабильность при минимальном участии человека (Зеньков и др., 2017; Bangian, et al.,

2012; Bradshaw, 1990). Выбирая направление рекультивации, следует ориентироваться на несколько показателей целесообразности: (а) как много компонентов ландшафта необходимо изменить для восстановления изначальной природной экосистемы или создания новой; (б) как много ресурсов потребуется для поддержания стабильности создаваемого ландшафта – внесение мелиорантов, полив, рыхление и прочее; (в) насколько велико различие в потребности ресурсов между ненарушенными территориями и рекультивированным; (г) каким образом повлияет создаваемый ландшафт на прилегающие к нему природные и техногенные территориальные комплексы. Такие природные факторы как геоморфологические, климатические, гидрологические, геологические и почвенные характеристики участка, а также социально-экономические условия определяют задачи рекультивации. Кроме того, будущая структура землепользования зависит от особенностей деятельности горнодобывающего предприятия, прав собственности на землю и требований законодательства.

В последние годы многие исследователи работали над созданием классификации, описывающей все возможные варианты повторного вовлечения земель в хозяйственный оборот после их восстановления, рассматривая более 20 видов землепользования (Рыбаков и др., 2010; Alekseenko et al., 2017c; Bangian et al., 2012; Masoumi, Rashidinejad, 2011; Narrei, Osanloo, 2011; Soltanmohammadi et al., 2010). Так, при соответствии почвенного покрова санитарно-гигиеническим нормам, возможно ведение сельского хозяйства, или создание водоема хозяйственно-питьевого, культурно-бытового или рыбохозяйственного назначения; лесопользование; земли могут быть применены в строительстве и рекреационных целях; возможно также использование территории для захоронения отходов. Обобщение этих работ позволяет выделить восемь ключевых направлений экономически целесообразного использования земельных ресурсов после рекультивации (табл. 4.1). Предусмотренные ГОСТ 17.5.1.02-85 возможные направления рекультивации схожи с этим перечнем, однако являются более генерализованными.

Учитывая рассмотренные экологические проблемы Новороссийской промышленной агломерации, связанные с нереккультивированными отвалами, наиболее рациональным будет выбор типа рекультивации, обеспечивающего устойчивость насыпных массивов благодаря нанесению противоэрозионных покрытий и производству почвудерживающих лесонасаждений. Согласно применяемой в России классификации, данное направление рекультивации рассматривается как

природоохранное и санитарно-гигиеническое (Сорокин, 2016). После проведения работ, земли отвалов могут быть использованы в лесоводческих целях, как зоны отдыха и спорта. Итогом рекультивации должно стать создание экологически сбалансированного лесного массива, являющегося частью комплекса зеленых насаждений общего пользования, суммарная площадь которого в Новороссийской промышленной агломерации должна составлять не менее 6 км² при рекомендуемых 20 м² на одного жителя (Пивняк и др., 2011).

Таблица 4.1

Возможные виды землепользования на рекультивированных территориях

№ п/п	Виды землепользования	Возможные пути развития территории
1	Сельское хозяйство	Пахотные земли, сады, пастбища, сенокосы, питомники
2	Лесоводство	Производство пиломатериалов, леса, восстановление природных биоценозов
3	Размещение водоема	Разведение аквакультуры, водоснабжение, парусный спорт, плавание, рыболовный пруд
4	Активный отдых	Спортивные площадки, парки активного отдыха, охотничьи угодья
5	Рекреация	Парки, открытые зеленые пространства, музей или выставка инноваций в горном деле
6	Строительство	Жилые, коммерческие, промышленные, образовательные центры
7	Охрана природы	Местообитания дикой флоры и фауны
8	Захоронение отходов	Полигон бытовых и промышленных отходов

Таким образом, с учетом представляемых угроз окружающей среде, проведенной оценки экологического состояния насыпных массивов и выбранного будущего типа землепользования, составлен проект рекультивации отвалов в Новороссийской промышленной агломерации. Комплекс принимаемых мер направлен на предотвращение дефляционных и эрозионных процессов путем закрепления почвенного покрова и создания устойчивого биогеоценоза. Рассмотренные геоморфологические характеристики отвалов обуславливают необходимость проведения двух типов работ: на склоновых участках крутизной от 15 до 45° и на субгоризонтальных террасах крутизной до 15°.

4.2 Рекультивация склонов

4.2.1 Технический этап закрепления субстрата

Закрепление почвенно-растительного покрова на склоновых частях отвалов (рис. 4.1) требует первоначальной стабилизации поверхности откосов на техническом этапе рекультивации.






Рис. 4.1. Террасированная поверхность отвалов в Новороссийской промышленной агломерации (источник: www.wikimapia.org)

Наиболее эффективным в данных условиях является использование таких геосинтетических материалов как геомат, георешетка и геосетка (Малинина и др., 2012). В табл. 4.2 приведена сравнительная характеристика свойств возможных покрытий для укрепления откосов, из которой видно, что при наименьшей потребности в засыпке грунтом, по ряду ключевых показателей геоматы не уступают аналогичным типам покрытий. Таким образом, рекомендуется использование геоматов с последующим гидропосевом плодородной смеси и семян травянистых и кустарниковых растений (Тохтарь и др., 2012).

Таблица 4.2

Сравнительные характеристики геосинтетических материалов
(на основании данных www.miakom.ru)

<i>Тип покрытия</i>	Геомат 	Георешетка 	Геосетка 
<i>Характеристики</i>			
Материал	Полипропилен и полиэфир	Полипропилен	Полиэфир
Предел прочности на разрыв, кН/м (средн., мин.–макс.)	50 (20–200)	20 (18–28)	20 (30–150)
Удлинение, %	13	30–50	15
Толщина, мм	13–15	50–100	12
Допустимая температура эксплуатации, °С	-30...+100	-60...+55	-15...+250
Поверхностная плотность, г/м ²	Не менее 550	Не менее 570	Не менее 300
Необходимость засыпки грунтом, мм	25–50	100–150	80–100
Вес, г/м ²	400–800	320–1520	250–950
Цена, Р/м ²	80–155	70–358	50–124

Геомат – рулонный материал, представляющий собой трехмерную структуру из переплетенных между собой волокон из полипропиленового и полиэфирного сырья. При укреплении им откосов, защита от эрозии будет достигаться благодаря выполнению функций покрытия, повышающего устойчивость откосов, и фильтра, предотвращающего вынос тонких почвенных фракций с атмосферными осадками. Технический этап рекультивации с укладкой геомата (рис. 4.2) включает следующие подэтапы.

I. Планировка поверхности

Перед укладкой противоэрозионных геоматов требуется выравнивание террас ниже и выше укрепляемого откоса с помощью механизированных средств (Голик, Коваленко, 2003). При проведении работ не должна применяться гусеничная техника,

приводящая к большому уплотнению почвы, чем при использовании колесной (Ghose, 2005). Степень разрыхленности почвы крайне важна для закрепления корневых систем, определяющих способность растения максимально полно закрепиться на рекультивируемой поверхности и обеспечивающих доступ к большим объемам воды и питательных веществ в почве. Растения, выращенные на разрыхленной почве, имеют корневые структуры с широким вертикальным и горизонтальным проникновением, что увеличивает устойчивость субстрата, необходимую для успешного завершения рекультивации.

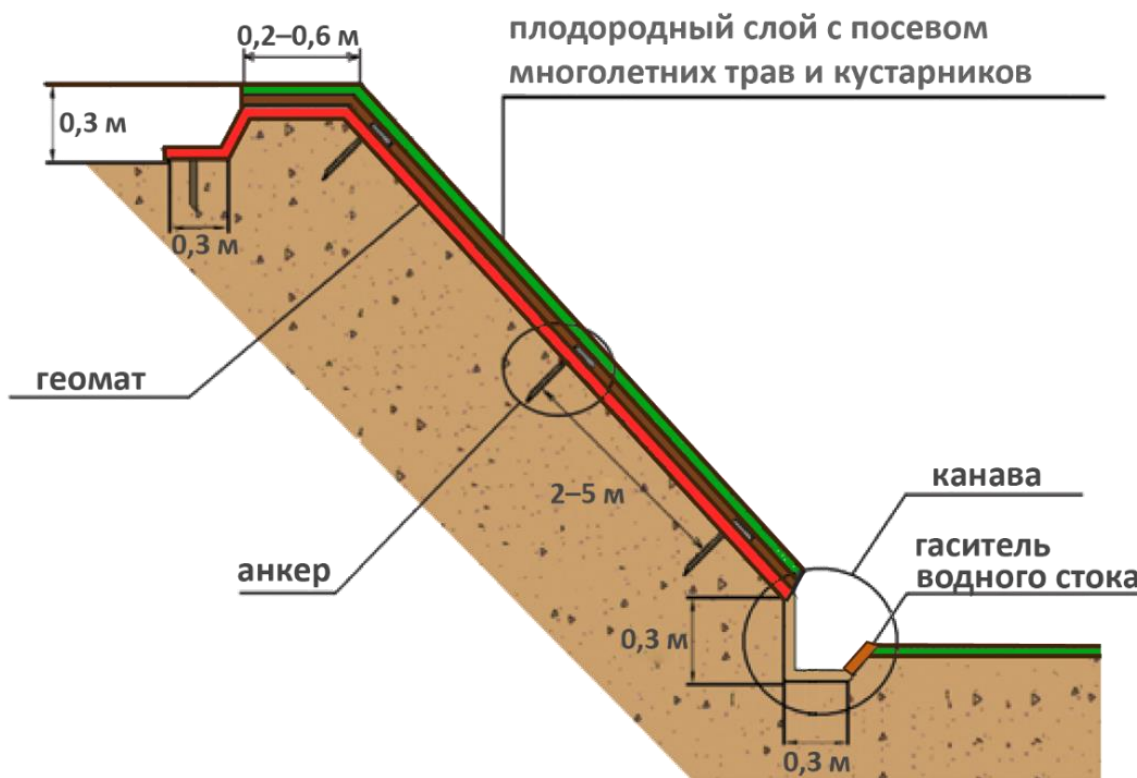


Рис. 4.2. Схема укладки геомата на откосах отвалов

Планировка поверхности должна осуществляться с помощью грейдера ДЗ-122 (рис. 4.3), эксплуатационная производительность которого составляет (4.1):

$$Q_1 = \frac{B \cdot K_{II} \cdot v \cdot \sin \beta}{m} = \frac{3250 \cdot 0,8 \cdot 4 \cdot 0,86}{1} = 8944 \text{ (м}^2\text{/ч)}, \quad (4.1)$$

где: B - длина отвала;

K_{II} - коэффициент перекрытия ($K_{II}=0,8$);

v - скорость грейдера ($v=3,5-5$ км/ч);

$\sin \beta$ - угол поворота отвала к направлению перемещения, град ($\beta=60^\circ$);

m - количество проходов по одному месту ($m=1\dots4$).

Количество часов работы одного автогрейдера на планировке поверхности откоса составит (4.2):

$$T_1 = \frac{S_{nc}}{Q_1} = \frac{105000}{8944} = 12 \text{ (ч)} \quad (4.2)$$



Рис. 4.3. Используемая на техническом этапе рекультивации техника. Слева сверху – грейдер ДЗ-122; справа сверху – экскаватор ЭТЦ-201; слева внизу – погрузчик фронтальный SEM 650В; справа внизу – самосвал БелАЗ-7523 (источники: www.spectehnika-info.ru, www.rosspecteh.ru).

II. Подготовка траншей ниже склона и на террасе выше склона вдоль бровки земляного полотна для закрепления геоматов

После планирования поверхности, необходимо заложение траншей трапецидального сечения с глубиной 0,3 м и шириной в нижней части 0,3 м на расстоянии 0,2–0,6 м от бровки земляного полотна выше склона; также необходимо устройство аналогичной по размерам канавы в основании откоса для гашения водного потока со склона и осуществления водостока, не приводящего к размыву поверхности террасы. Нарезка траншей и анкерной канавы должны производиться при помощи экскаватора ЭТЦ-201 (рис. 4.3), технические характеристики которого представлены в табл. 4.3.

Технические характеристики экскаватора ЭТЦ-201

Параметры	Значение
Параметры бульдозерного оборудования, м:	
ширина отвала	2,20
высота отвала	0,60
угол поворота отвала, град	45
Габаритные размеры в транспортном положении, м:	
длина	8,15
ширина	2,38
высота	3,18
Максимальные размеры траншей, м:	
глубина	2,00
ширина	0,40
Масса экскаватора, т	8,60
Базовый трактор	МТЗ-1221 «Беларус»

Время работы одного экскаватора при проходке анкерной траншеи и канавы составит (4.3):

$$T_5 = \frac{L_{\text{общ}}}{V_n} = \frac{3510}{500} = 7 \text{ (ч)}, \quad (4.3)$$

где $L_{\text{общ}}$ – общая длина анкерной траншеи и канавы, м;

V_n – рабочая скорость передвижения экскаватора, м/ч.

III. Укладка геоматов

Количество геоматов, необходимое для укрепления откосов отвалов, составляет (4.4):

$$N = \frac{S_{\text{откосов}} \cdot k}{S_{\text{геомата}}} = \frac{105000 \cdot 1,16}{400} = 305 \text{ (шт.)}, \quad (4.4)$$

где N – количество геоматов, шт;

$S_{\text{откосов}}$ – площадь откосов, м²;

$S_{\text{геомата}}$ – площадь одного геомата, м²;

k – показатель, учитывающий необходимую площадь геоматов для 1000 м².

Общий вес геоматов составит (4.5):

$$P = N \cdot q = 305 \cdot 30 = 9150 \text{ (кг)} = 9,15 \text{ (т)}, \quad (4.5)$$

где P – общий вес геоматов, кг;

N – количество геоматов, шт;

q – вес одного геомата, кг.

Геоматы транспортируются всеми видами крытого транспорта. Укладка геоматов должна производиться сверху вниз с заделкой его в верхней части анкерами, в заранее подготовленных анкерных траншеях. Раскатка рулона геомата осуществляется вручную. Анкерные траншеи после укладки геоматов заполняют почвой и уплотняют. Соседние полотна укладываются параллельно с нахлестом не менее 0,2 м и закреплением скобами-анкерами диаметром 3–5 мм и длиной 30 см с отогнутым верхним и заостренными нижними концами, изготавливаемыми из проволоки на месте производства работ. Анкеры и скобы в процессе укладки устанавливаются в 2–3 точках по ширине рулона через 4–6 м по его длине (Отраслевой..., 2003). Количество анкеров, необходимое для закрепления геоматов на поверхности откосов, рассчитывается по следующей формуле (4.6):

$$Z = N \cdot r = 305 \cdot 50 = 15\,250 \text{ (шт.)}, \quad (4.6)$$

где Z – количество анкеров, шт.;

r – количество анкеров, необходимых для закрепления одного геомата, шт.;

N – количество геоматов, шт.

Необходимое для укладки и монтажа геоматов время составит 21 рабочий день с учетом суточной рабочей нормы, составляющей 15 геоматов в день.

IV. Нанесение плодородного слоя почв поверх геоматов

Покрытие геоматов почвой осуществляется с помощью экскаваторов сверху вниз, выравнивание и уплотнение грунта осуществляется вручную с постепенным перемещением по линии фронта работ. Объем плодородных почв, который необходим для привнесения на спланированную поверхность отвала, устанавливается с учетом требований выбранного санитарно-гигиенического направления рекультивации. Объем почв для отвала вскрышных пород и некондиционного мергеля составит (4.7):

$$V_{\text{пс}} = S_{\text{откосов}} \cdot h_{\text{пс}} = 105\,000 \cdot 0,4 = 42\,000 \text{ (м}^3\text{)}, \quad (4.7)$$

где $S_{\text{откосов}}$ – площадь откосов, м²;

$h_{\text{пс}}$ – мощность необходимого плодородного слоя, м.

Для транспортировки почвы рекомендуется использование автосамосвала БелАЗ-7523 (рис. 4.3). Для погрузочных работ должен быть задействован фронтальный

погрузчик SEM 650B (рис. 4.3). Технические характеристики фронтального погрузчика Shandong SEM 650B представлены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Технические характеристики фронтального погрузчика Shandong SEM 650B

Параметры	Значение
Объем ковша, м ³	4,5,0
Грузоподъемность, кг	5000
Эксплуатационная масса, т	17,05
Удельный расход топлива, г/кВт*ч	220
Максимальная скорость, км/ч	44,5
Габаритные размеры, м	
длина	8,30
ширина	3,10
высота	3,60

Эксплуатационная производительность одноковшового погрузчика составляет (4.8):

$$Q_{\text{Э}} = \frac{3600 \cdot E \cdot k_{\text{н}} \cdot k_{\text{э}}}{T_{\text{ц}} \cdot k_{\text{р}}} = \frac{3600 \cdot 4,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75}{12 \cdot 1,3} = 701 \text{ (м}^3\text{/ч)}, \quad (4.8)$$

где: $T_{\text{ц}}$ – время рабочего цикла одноковшового погрузчика, с;

E – вместимость ковша одноковшового погрузчика, м³;

$k_{\text{н}}$ – коэффициент наполнения ковша погрузчика (табл. 4.5), б/р;

$k_{\text{р}}$ – коэффициент разрыхления грунта, б/р;

$k_{\text{э}}$ – коэффициент эксплуатационных потерь времени, б/р.

Таблица 4.5

Коэффициент наполнения ковша при погрузке рыхлых отложений

Почва	Плотность, т/м ³	$k_{\text{н}}$
Рыхлая	1,6	0,8...0,9

Эксплуатационная сменная производительность одноковшового погрузчика составляет (4.9):

$$Q_{\text{см}} = Q_{\text{Э}} \cdot t_{\text{см}} = 701 \cdot 8 = 5608 \text{ (м}^3\text{/см.)}, \quad (4.9)$$

где: $t_{\text{см}}$ – продолжительность 1 смены, ч;

$Q_{\text{Э}}$ – эксплуатационная производительность одноковшового погрузчика.

Количество смен одного погрузчика на погрузочных работах (4.10):

$$T_{\text{погр}} = \frac{V_{\text{ис}}}{Q_{\text{см}}} = \frac{42000}{5608} = 8 \text{ (см.)} \quad (4.10)$$

Количество дней работы в 2 смены двумя погрузчиками (4.11):

$$n_{\text{дн}} = \frac{T_{\text{погр}}}{2 \cdot n_{\text{погр}}} = \frac{8}{2 \cdot 1} = 4 \text{ (раб. дн.)}, \quad (4.11)$$

где: $n_{\text{погр}}$ – количество погрузчиков, шт.;

$T_{\text{погр}}$ – количество смен одного погрузчика на погрузочных работах, смен;

2 – количество смен в сутки.

4.2.2 Биологический этап посева трав

Фитомелиоративные мероприятия необходимы для улучшения физических, химических и биологических свойств почвы. Основная задача данного этапа заключается в создании продуктивных угодий, закреплении поверхностного слоя почвы корневой системой растений, создании сомкнутого травостоя и предотвращении развития водной и ветровой эрозии почв на склонах отвалов (Зеньков и др., 2014; Conesa et al., 2007). Травы устойчивы к засухе, недостатку питательных веществ и другим нагрузкам, а также препятствуют процессу деградации почв за счет развития обширных волокнистых корневых систем, вследствие чего считаются колыбелью стабильного растительного покрова (Середина и др., 2008; Nao et al., 2004; Shu et al., 2002). По мере развития травянистого сообщества, меняются почвенные условия: увеличивается содержание органического вещества, уменьшается плотность, нейтрализуется показатель рН, минеральные питательные вещества накапливаются в гумусовом горизонте в доступной форме. Благодаря действию корневых систем как поглотителей труднодоступных элементов питания, травы аккумулируют необходимые для роста соединения, возвращая их в поверхностный горизонт почвы при перегнивании (Трещевская и др., 2011; Li, 2006; Mendez, Maier, 2008).

Для формирования растительного покрова требуется подбор засухоустойчивых, быстрорастущих трав, способных развиваться на почвах с малым содержанием питательных веществ. В определенных условиях основным фактором выбора растений является толерантность к высокой кислотности и загрязняющим веществам (Воробьев и др., 2010; Caravaca et al., 2002). Однако рекультивация должна проводиться с применением растений, отобранных не только из-за способности произрастать в неблагоприятных условиях отвалов, но и по причине улучшения ими характеристик почвы (Madejon et al., 2006). Возможность использования нетипичных для местных

сообществ растений требует тщательного рассмотрения, поскольку культивируемые экзотические виды могут стать вредителями по отношению к региональным фитоценозам. Коренные виды предпочтительнее привнесенных, поскольку органично взаимодействуют с экосистемой и адаптированы к климатическим условиям (Панков и др., 2012; Chaney et al., 2007).

Развитию травянистых сообществ способствует внесение древесной щепки, компоста, навоза и очищенных осадков сточных вод, которые улучшают структуру почвы, повышают емкость катионного обмена и влагоудерживающую способность. Эти вещества также служат в качестве удобрения с медленным высвобождением питательных веществ и микробиологического инокулянта, содержащего живые культуры полезных для растений микроорганизмов (Jordan et al., 2002; Tordoff et al., 2000). Кроме того, древесные опилки увеличивают показатели выживаемости растений и уступают только гумусовому горизонту почвы по накоплению N, P и K (Трещевская и др., 2011; Sheoran et al., 2009).

Для посева сообщества травянистых растений на откосах породных отвалов необходимо применение технологии гидропосева. Эффективность данного метода в сравнении с другими способами устройства травяного покрытия является наиболее высокой (табл. 4.6), что позволяет применить данный способ посева семян и внесения почвоулучшителей при помощи гидросеялки (Пашкевич и др., 2018).

Таблица 4.6

Сравнительная экспертная оценка способов устройства травяного покрытия (балльная характеристика: 1 б. – наименьшее значение параметра, 3 б. – наибольшее)

Параметр	Посевной способ	Рулонный способ	Гидропосев
Трудоемкость	3	2	1
Скорость производства работ	1	2	3
Затраты на устройство травяного покрытия	2	3	1
Затраты на содержание травяного покрытия	3	2	1
Затраты на подготовку поверхности	3	2	1
Декоративность по окончанию работ	1	3	2
Качество травостоя	2	3	3
Кратность полива	3	2	2
Противодействие эрозии почвы	1	3	3
Сезон проведения работ	Весна и осень	С апреля по ноябрь	
Стойкость к смыву со склона (уклон)	до 20°	до 45°	до 70°

Для выполнения работ необходимо использование гидросеялки Imperial 3000 (рис. 4.4), технические характеристики которой приведены в табл. 4.7. В ней смешиваются все компоненты раствора, с помощью которого будет выполнен гидропосев. Оборудование подает смесь из машины через шланг и распыляет ее под большим давлением. Спустя несколько часов нанесенный раствор подсыхает. На поверхности почвы образуется корка, защищающая семена от смывания атмосферными осадками, сдувания ветром и поедания птицами. Под коркой создаются оптимальные условия для прорастания семян.



Рис. 4.4. Гидросеялка Imperial 3000 (источник: www.warnerelectric.com)

Таблица 4.7

Технические характеристики гидросеялки Imperial 3000

Показатель	Значение
Длина, см	594
Ширина, см	249
Высота, см	262
Вес без загрузки, кг	4 001
Объем загрузки, л	12 004
Площадь покрытия при одной загрузке, м ²	6 600

Необходимое количество подходов загрузки гидросеялки для полива территории откосов отвала площадью 105 000 м² составит (4.12):

$$n_{\text{раз}} = \frac{S_{\text{отвал}}}{S_{1\text{раза}}} = \frac{105000}{6600} = 16 \text{ (раз)} \quad (4.12)$$

Время полива 1 подхода с площадью 6 600 м² (4.13):

$$T_{1\text{заход}} = \frac{S_{1\text{раза}}}{q_{\text{насос}}} = \frac{12004}{106500} = 0,11 \text{ (ч)}, \quad (4.13)$$

где: $S_{1\text{раза}}$ – объем загрузки, л

$q_{\text{насос}}$ – производительность насоса, л/час

Время полива всей поверхности отвала составит (4.14):

$$T_{\text{полива}} = n_{\text{раз}} \cdot T_{1\text{заход}} = 16 \cdot 0,11 \approx 2 \text{ (ч)}. \quad (4.14)$$

Технология гидропосева газона предусматривает использование водного раствора, который распыляется по участку и включает следующие компоненты.

1) Семена трав. На первом этапе рекультивации целесообразно использовать многолетние травы, преимущественно злаки. Данная группа растений обладает высокой продуктивностью, а также быстро образует дернину, защищая поверхность от ветровой и водной эрозии. Помимо этого, злаки малотребовательны к плодородию почвы и большинство видов переносят недостаток влаги. Оптимальным будет использование распространенных на Северо-Западном Кавказе злаков, обладающих хорошей способностью к образованию дерновой подстилки: пырей гребенчатый (*Agropyron cristatum*), бородач кровоостанавливающий (*Botriochloa ischaetum*), коротконожки (*Brachypodium spp.*).

2) Удобрения. Вносимые с водным раствором мелиоранты улучшают химический состав почвы, обеспечивают быстрое образование корневой системы, способствуют росту травянистого яруса. Для проведения гидропосева необходимо комплексное водорастворимое удобрение, в состав которого в соотношении 1:1 входят гранулы немедленного действия и гранулы в полимерной оболочке. Содержание азота должно составлять не менее 20 %, фосфора – 25 %, калия – 5 %. В течение 2–3 лет весной или осенью должна вноситься подкормка для растений в объеме не менее 50 кг/га. Уход за рекультивируемым участком необходимо проводить до достижения травами проективного покрытия 60–70 % (Сорокин, 2016).

3) Гидрогель для накопления в связанной форме влаги, которая будет поглощаться растениями в периоды между поливами. В качестве основы должен использоваться полиакриламид или иной полимер с накапливающей способностью не менее 0,1 л воды на 1 г сухого вещества.

4) Мульчирующий материал на основе древесных опилок, пригодный для покрытия редко обрабатываемой и не перекапываемой почвы (с периодом разложения не менее одного года), являющийся своеобразным «проявителем», позволяющим равномерно нанести раствор.

5) Клейковина в качестве связующего вещества.

4.3 Рекультивация террас

4.3.1 Технический этап подготовки площадки

Выравнивание участков террас ниже и выше укрепляемых откосов, выполненное перед укладкой противозрозионных геоматов, обеспечивает доступ к выположенным площадкам отвалов. Субгоризонтальная поверхность данных террас не требует специального профилирования. Привнесение дополнительно слоя почвы также является нецелесообразным, так как первичные ассоциации травянистой растительности обеспечивают минимальную задернованность, достаточную для высадки растений на биологическом этапе рекультивации. В связи с этим, технический этап работ включает подготовку лунок для посадки подобранных древесных видов растений: необходимо заложение ручным способом ям размером 0,6×0,6×0,6 м в количестве 4 000 на 10 000 м².

4.3.2 Биологический этап посадки деревьев

Высаживаемые древесные растения повысят качество рекультивированной почвы благодаря многочисленным процессам:

- поддержания и увеличения содержания органического вещества;
- закрепления доступного растениям азота;
- увеличения инфильтрационной способности почвы и накопление влаги;
- снижения потери питательных веществ при эрозии и выщелачивании;
- улучшения физических свойств почвы;
- нейтрализации щелочно-кислотных условий;
- повышения биологической активности в корневой сфере.

Кроме того, деревья создают самоподдерживающийся плодородный гумусовый горизонт почвы, поглощая при этом питательные вещества из глубинных горизонтов при проникновении корней глубже, чем может достичь травянистая растительность (Семина, Андроханов, 2014; Трещевская, Тихонова, 2015). Лиственный и хвойный опад вкупе с корневыми выделениями обеспечивают циркуляцию питательных

веществ в почве (Панков и др., 2012; Coates, 2005; Padmavathiamma, Li, 2007; Mertens et al., 2007; Pulford, Watson, 2003).

Можжевельник колючий или **красный** (*Juniperus oxycedrus*) – вечнозеленое хвойное дерево (рис. 4.5), родственное кипарису, достигающее высоты 5–10 м, диаметра кроны до 1 м и живущее до 600 лет. Низкорослые и стелющиеся виды можжевельника – одни из самых распространенных растений на каменистых склонах и скалах. Можжевельник светолюбив, засухоустойчив и неприхотлив к почвенным условиям, однако лучше растет на легких и питательных почвах (Тильба, 1981).



Рис. 4.5. Посадки можжевельника красного на опытной площадке отвалов

Скумпия кожевенная (*Cotinus coggygria*) – листопадный сильноветвистый кустарник, реже дерево (рис. 4.6), достигающее высоты 5 м и живущее до 100 лет. Имеет сильно разветвленную корневую систему, отличается светолюбивостью и холодостойкостью. Скумпия относится к кальцефитам, не выносит избыточного почвенного увлажнения, растет на сухих каменистых склонах, известковых обнажениях (Белюченко, 2005). Дает обильную поросль от пня, также в культуре легко разводится черенками, делением кустов, отводками. Дикорастущие заросли имеют противозерозное и почвозащитное значение.



Рис. 4.6. Посадки скумпии кожевенной на опытной площадке отвалов

Схема посадок представлена на рис. 4.7. Работы должны проводиться в конце летнего сезона, перед началом осеннего-зимнего периода повышенного выпадения атмосферных осадков, обеспечивающего необходимое увлажнение почвенного покрова.

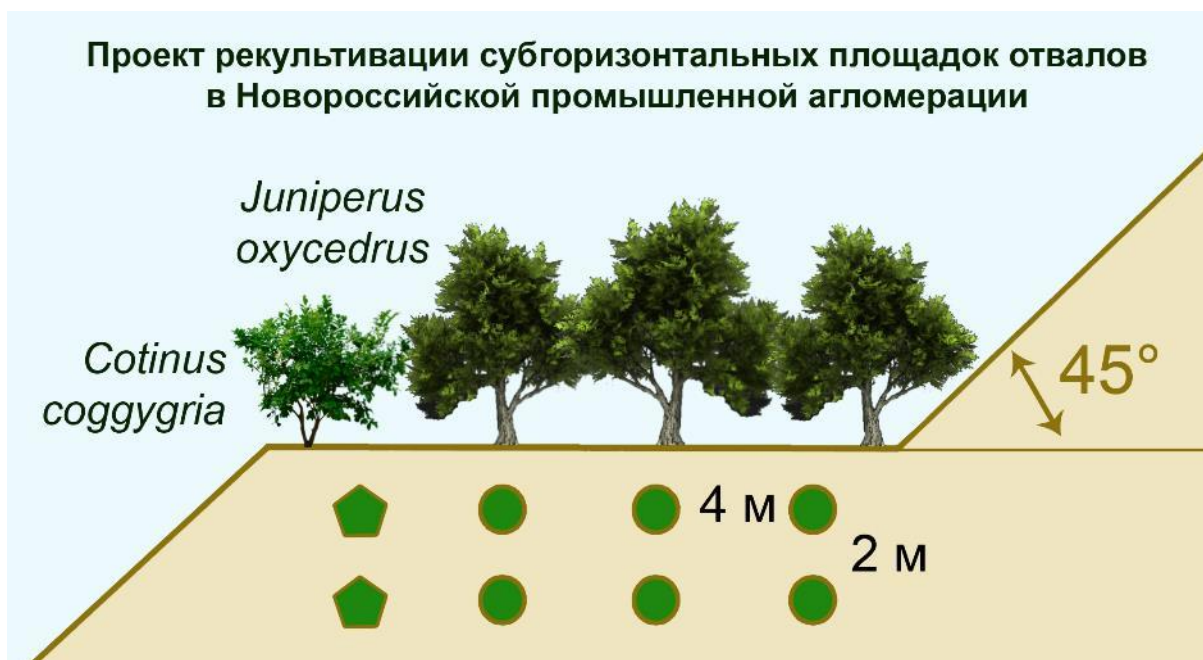


Рис. 4.7. Схема посадки древесных растений на террасах отвала: скумпия, 25 %, можжевельник, 75 %

На маломощных каменистых почвах приживаемость посадок составляет в среднем 70–80 %. В лунку вручную высаживается маленький саженец дерева,

предварительно выращенный в питомнике лесхоза. На террасы саженцы высаживаются лишь в двухлетнем возрасте при норме в 4 000 саженцев на 10 000 м². Потребность в посадочном материале представлена в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Потребность в посадочном материале на 10 000 м²

Наименование древесных пород	Необходимое количество саженцев, шт.
Скумпия кожевенная возрастом 2 года	1 000
Можжевельник красный возрастом 2 года	3 000
Итого	4 000

Реализованная на опытной площадке схема посадки (рис. 4.8) предполагает создание биогеоценоза, близкого по составу к местным растительным сообществам. На южном склоне Маркотхского хребта на территории рекультивированных отвалов должен сформироваться можжевельниковый лес, образующий прерывистый пояс в границах от 100 до 150 м над уровнем моря. Границы пояса будут меняться в зависимости от условий рельефа. В условиях преобладания можжевельника, под пологом леса должен образоваться скумпиевый ярус.



Рис. 4.8. Посадки древесных растений на опытной площадке на террасе отвала: скумпия кожевенная (№№ 1, 5, 9) и можжевельник красный (№№ 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12)

4.4 Устойчивость создаваемого ландшафта

4.4.1 Эволюция биогеоценоза

Пробные посадки были проведены в конце летнего сезона 2017 г. на выположенной субгоризонтальной поверхности террасы отвала. Культивируемые древесные растения требуют полива в течение первого года после начала рекультивации. При этом в осенне-зимний период выпадает наибольший объем атмосферных осадков, что способствует укоренению саженцев. Растительное сообщество, представленное сейчас травянистыми растениями будет претерпевать изменения в результате проводимой рекультивации. В настоящее время в структуре биогеоценоза преобладают характерные для каменистых субстратов травы: полынь кавказская (*Artemisia caucasica*), астрагалы (*Astragalus spp.*), лен шерстистый (*Linum lanuginosum*), колокольчик Комарова (*Campanula komarovii*), шалфеи (*Salvia spp.*), лазурник трехлопастной (*Laser trilobum*), пиретрумы (*Pyrethrum spp.*), оносма крымская (*Onosma taurica*), коротконожки (*Brachypodium spp.*) и некоторые другие (рис. 4.9).

На второй год после начала рекультивации на субгоризонтальных поверхностях отвалов структура фитоценоза будет существенным образом эволюционировать (рис. 4.10). Значительная доля на втором году рекультивации будет приходиться на древесные виды: можжевельник (*Juniperus oxycedrus*) и скумпию (*Cotinus coggygria*). На протяжении нескольких лет за посадками должен вестись уход, почве требуется периодическое рыхление.

На пятый год рекультивации, в возрасте 5–6 лет древесные растения должны полностью сформировать устойчивый фитоценоз, став доминантными видами (рис. 4.11). Преобладавшая на нерекультивированных территориях полынь кавказская будет практически полностью вытеснена ввиду неприспособленности к лесным условиям (Тильба, 1981). При этом в подлеске будут произрастать принадлежащие семейству бобовых астрагалы (*Astragalus spp.*) и злаковые пырей гребенчатый (*Agropyron cristatum*), бородач кровоостанавливающий (*Botriochloa ischaetum*), коротконожки (*Brachypodium spp.*), создающие необходимые условия для поддержания геохимических циклов элементов питания растений в ландшафте.

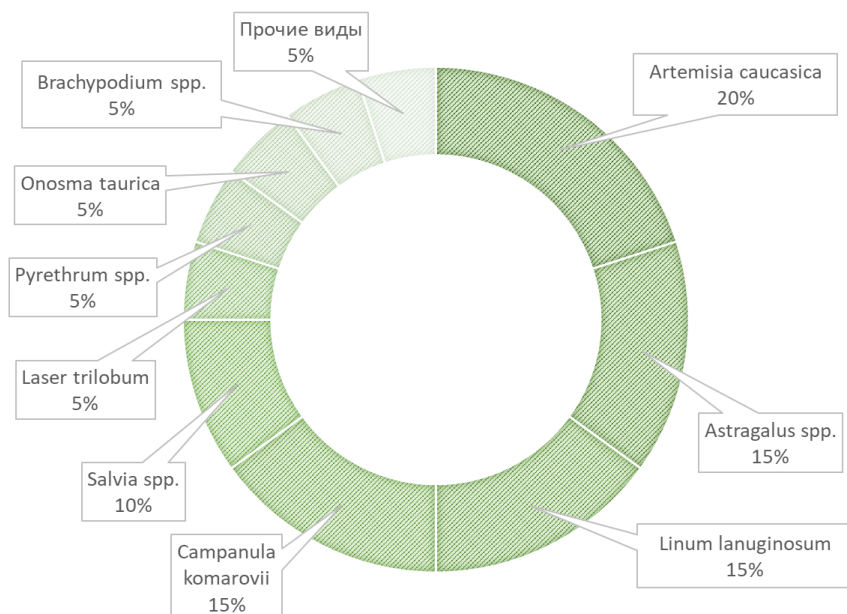


Рис. 4.9. Видовое разнообразие фитоценоза отвалов в первый год рекультивации, перед проведением посадок древесных растений

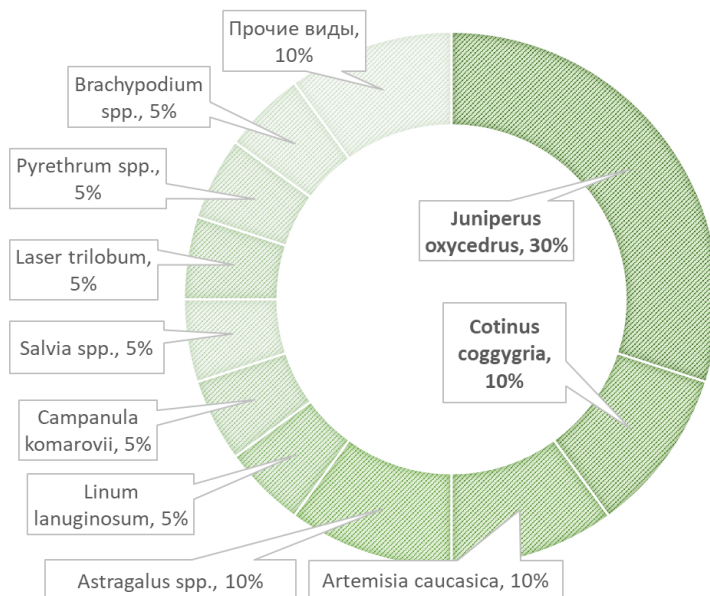


Рис. 4.10. Прогнозное видовое разнообразие фитоценоза отвалов на второй год рекультивации. **Полужирным** шрифтом отмечены можжевельник (30 %) и скумпия (10 %), соотношение которых 3:1 задано изначальными условиями посадки древесных растений

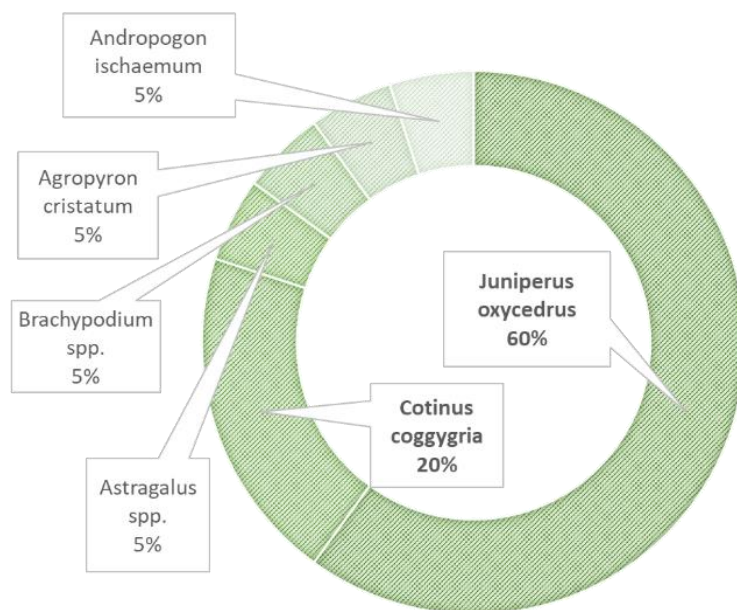


Рис. 4.11. Прогнозное видовое разнообразие фитоценоза отвалов на пятый год рекультивации. **Полужирным** шрифтом отмечены можжевельник (60 %) и скумпия (20 %)

При общем снижении видового разнообразия по истечении первых пяти лет произойдет повышение площади проективного покрытия территории отвала (рис. 4.12). В течение последующих пяти лет деревья смыкаются своими кронами и создают лесной полог.

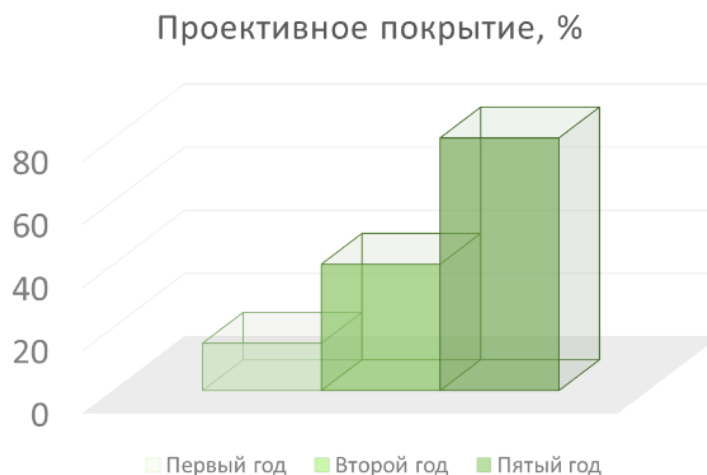


Рис. 4.12. Прогноз изменения относительной площади проекции фитоценоза на поверхности отвалов в течение первых пяти лет рекультивации

4.4.2 Накопление элементов питания растений

Помимо создания древесного яруса растительности, итогом рекультивации должно стать улучшение физико-химических свойств почвенного покрова отвалов. В

первую очередь, развитый биогеоценоз улучшает структуру почвы, приводя к большей агрегированности. Содержание крупных обломков в субстрате отвала будет постепенно уменьшаться из-за выветривания фрагментов породы. В результате, будет происходить образование мелкозема и, следовательно, увеличение запаса влаги. Также начнется формирование стабильных геохимических циклов питательных веществ, зависящих от нескольких основных факторов: (а) накопление гумуса; (б) присутствие азотфиксирующих растений; (в) создание органического запаса фосфора (Трещевская и др., 2011; Ghose, 2005). Протекание каждого из этих процессов может регулироваться выполняемыми при рекультивации работами.

а) Гумусовые соединения способствуют метаболической активности многих почвенных микроорганизмов, потребляющих углерод в результате разложения растительного и животного вещества в почве. Содержание органического С часто является лимитирующим фактором микробной метаболической активности (Добровольский, 2003). Культивирование злаковых видов на склонах (пырей гребенчатый, бородач кровоостанавливающий, коротконожки) в совокупности со внесением удобрений обеспечат бактерии достаточным количеством органического С для стимулирования метаболической активности, растущей в течение первого года на 80–85 %, и увеличит среднюю влажность почвы на 6–8 % (Maiti, Ghose, 2005). Увеличение содержания органического С на террасах также будет происходить благодаря формированию листовенной подстилки и ее гумификации.

б) В отвалах азот является одним из важнейших элементов, ограничивающих развитие растений. Основная часть N, необходимого для развития фитоценоза, запасается в почве при преобразовании атмосферного N, а также при последующей минерализации отмерших растений, накопивших органический N. Поскольку в слаборазвитых техногенных почвах отвалов практически не представлена популяция бактерий рода *Rhizobium*, захватывающих атмосферный N, поэтому проект рекультивации предполагает развитие астрагалов (*Astragalus spp.*), принадлежащих семейству N-фиксирующих бобовых. Накопившие органический N астрагалы будут создавать в почве легкодоступный запас питательных веществ при разложении отмерших корней (Song et al., 2004). Поскольку N в основном накапливается в органическом веществе почв, внесение очищенного осадка сточных вод может значительно повысить содержание N и его доступность корням (Sydnor, Redente, 2002). Кроме того, органические отходы могут увеличить объем удерживаемой почвой влаги.

в) Сохранение доступного растениям фосфора в отвалах затруднено, поскольку при свободном доступе кислорода в условиях гипергенеза происходит окисление с образованием оксидов железа, поглощающих растворимый P, «фиксирующийся» в недоступных для растений формах. Тенденция связывания P в нерастворимые соединения возрастает с течением времени, поэтому крайне важно создать в почве запас P в форме органических соединений для долгосрочного обеспечения потребностей растений. Внесение удобрений во время рекультивации может служить источником достаточного количества P в течение нескольких последующих лет для поддержки роста растений. В некоторых случаях, P также становится доступным сообществу растений, при выветривании породных фосфатов кальция, но и этого объема недостаточно для удовлетворения потребностей растущего сообщества растений.

4.4.3 Формирование сообщества почвенных микроорганизмов

Геохимические циклы элементов питания растений тесно связаны с деятельностью почвенных микроорганизмов. Углерод, азот и фосфор могут повторно использоваться в экосистеме благодаря метаболической активности растений и почвенных микробов. Циклы углерода и азота нарушаются по мере уменьшения популяций микробных микроорганизмов и в случае нехватки данных элементов уже во второй год рекультивации могут потребоваться специальные меры, способствующие формированию сообщества почвенных микроорганизмов.

Стимулирование роста и активности сообщества бактерий достигается внесением в почву обработанного осадка сточных вод в смеси с сеном. Бактерии, присутствующие в почве, требуют источника легко окисляемого углерода, обеспечиваемого смесью, повышающей их метаболическую активность (Moynahan et al., 2002).

Симбиотическая ассоциация мицелия гриба с корнями растений – микориза – практически не развита сразу после проведения рекультивации, но формируется по мере роста растений. Микоризальные грибки, существующие в верхнем горизонте почвы, могут при необходимости поддерживаться как внесением содержащих органический углерод удобрений, так и посадками специальных растений. Такие травянистые растения рода бобовых как леспедеца (*Sericea lespedeza*) формируют стабильную микоризу, способную экстрагировать фосфор из прочносвязанных соединений (Гродницкая, Трефилова, 2010; Mummey et al., 2002b). Поддержка

микробной популяции в прилегающем к корням растений слое почвы – ризосфере – возможно при помощи чистой культуры микроорганизмов, вводимой в качестве биоудобрения или средства биологической борьбы с вредителями, то есть инокулята. Использование таких почвоулучшителей будет способствовать росту популяций ризобактерий, микоризообразующих бактерий, азот-фиксирующих бактерий и микоризного грибка (Khan, 2004).

4.5 Экономическая целесообразность рекультивации

Предлагаемый проект рекультивации отвалов Новороссийской промышленной агломерации предполагает выполнение в течение одного летнего сезона работ, направленных на снижение интенсивности дефляции и эрозии поверхности почв, а также на предотвращение возможного селеобразования. Рациональность мероприятий определяется путем сопоставления суммарных затрат (Скляренко, Прудников, 2006) на выполнение всех работ на техническом и биологическом этапах рекультивации с предотвращенным ущербом окружающей среде.

4.5.1 Затраты на технический этап рекультивации

I. Капитальные затраты (балансовая стоимость)

В табл. 4.9 и 4.10 представлены перечни необходимых на техническом этапе рекультивации материалов и оборудования, а также условия его использования и сопутствующие расходы. Капитальные затраты составят (4.15):

$$C_{\text{кап}} = C_{\text{пок}} + C_{\text{тр}} + C_{\text{м}} + C_{\text{пр}}, \text{ тыс. } \text{₽}, \quad (4.15)$$

где $C_{\text{пок}} = 9547,5$ - стоимость покупки, тыс. ₽ ;

$C_{\text{тр}} = 477,47$ - стоимость доставки, тыс. ₽ (5 % от $C_{\text{пок}}$);

$C_{\text{м}} = 477,47$ - стоимость монтажа, тыс. ₽ (5 % от $C_{\text{пок}}$);

$C_{\text{пр}} = 286,42$ - прочие затраты, тыс. ₽ (3 % от $C_{\text{пок}}$).

$$C_{\text{кап}} = 9547500 + 477475 + 477475 + 286425 = 10\,788,67 \text{ (тыс. } \text{₽)}$$

Таблица 4.9

Характеристики необходимых материалов

Наименование	Количество, ед.	Стоимость, $\text{₽}/\text{ед.}$	Общая стоимость ($C_{\text{пок}}$), тыс. ₽
Геомат	305	30 000,00	9 150,00
Анкер	13 250	30,00	397,50
Итого:			9 547,50

Таблица 4.10

Характеристики необходимой тяжелой техники

Наименование	Балансовая стоимость, тыс. Р	Кол-во, ед.	Общая балансовая стоимость тыс с. Р	Количество рабочих дней использования оборудования
Грейдер ДЗ-122	10 000	1	10 000	9
Экскаватор ЭТЦ-201	1 800	1	1 800	1
Автосамосвал БелАЗ-7523	1 000	4	4 000	4
Погрузчик фронтальный Shandong SEM 650B	2 150	1	2 150	4

II. Эксплуатационные затраты

– Материальные затраты

Запасные части и материалы, 1–5 % в год от стоимости оборудования (4.16):

$$Z_{зч} = \frac{K \cdot C_i \cdot n_{\text{раб.дней}} \cdot n_{\text{об}}}{n_{\text{год}}}, \text{ тыс. Р,} \quad (4.16)$$

где K – коэффициент затрат на запасные части и материалы, ($K=1-5\%$);

C_i – стоимость i -го вида оборудования, млн Р;

$n_{\text{раб.дней}}$ – количество рабочих дней транспорта;

$n_{\text{об}}$ – количество машин;

Грейдер ДЗ-122:

$$Z_{зч} = \frac{10000 \cdot 0,03 \cdot 9 \cdot 1}{365} = 7,40 \text{ тыс. Р}$$

Погрузчик фронтальный Shandong SEM 650:

$$Z_{зч} = \frac{2150 \cdot 0,03 \cdot 4 \cdot 1}{365} = 0,71 \text{ тыс. Р}$$

Автосамосвал БелАЗ-7523:

$$Z_{зч} = \frac{1000 \cdot 0,03 \cdot 4 \cdot 4}{365} = 1,31 \text{ тыс. Р}$$

Экскаватор ЭТЦ-201:

$$Z_{зч} = \frac{1800 \cdot 0,03 \cdot 1 \cdot 1}{365} = 0,15 \text{ тыс. Р}$$

Итого: $\sum Z_{зч} = 7,40 + 0,71 + 1,31 + 0,15 = 9,57$ тыс. Р

Затраты на топливо (4.17):

$$Z_T = E \cdot T \cdot C_T \cdot n \cdot N \cdot K_n \cdot n_T, \text{ тыс. Р,} \quad (4.17)$$

где: E – потребление топлива транспортом, л/ч;

T – продолжительность смены, ч;

C_T – цена топлива, Р/л;

n – количество смен в сутки;

N – количество рабочих дней в году;

$K_{и}$ – коэффициент использования транспорта (во времени);

n_T – количество используемого транспорта.

Грейдер ДЗ-122:

$$З_T = 45 \cdot 8 \cdot 34 \cdot 2 \cdot 9 \cdot 0,8 \cdot 1 = 176,00 \text{ тыс. Р}$$

Погрузчик фронтальный Shandong SEM 650:

$$З_T = 42 \cdot 8 \cdot 34 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 1 = 73,00 \text{ тыс. Р}$$

Автосамосвал БелАЗ-7512:

$$З_T = 50 \cdot 8 \cdot 34 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 4 = 435,00 \text{ тыс. Р}$$

Экскаватор ЭТЦ-201:

$$З_T = 7 \cdot 8 \cdot 34 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 0,8 \cdot 1 = 12,00 \text{ тыс. Р}$$

$$\text{Итого: } \sum З_T = 176 + 73 + 435 + 12 = 696,00 \text{ тыс. Р}$$

– Фонд оплаты труда

Затраты в фонд оплаты труда составят (4.18):

$$З_{\text{ФОП}} = T_{\text{СТ}} \cdot t \cdot N \cdot n_{\text{см}}, \text{ тыс. Р}, \quad (4.18)$$

где: $T_{\text{СТ}}$ – часовая тарифная ставка работника соответствующего разряда, Р/ч;

t – эффективный фонд времени работы одного работника, ч;

N – количество рабочих;

$n_{\text{см}}$ – количество смен.

Для проведения рекультивационных работ будут задействованы:

- 2 машиниста грейдера с тарифной ставкой 340 Р/ч.;
- 2 машиниста погрузчика с тарифной ставкой 300 Р/ч.;
- 8 водителей автосамосвала с тарифной ставкой 350 Р/ч.;
- 2 машиниста экскаватора с тарифной ставкой 300 Р/ч.

Машинист грейдера:

$$З_{\text{ФОП}} = 340 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 9 = 49,00 \text{ тыс. Р}$$

Машинист фронтального погрузчика:

$$З_{\text{ФОП}} = 300 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 4 = 19,00 \text{ тыс. Р}$$

Водитель автосамосвала:

$$Z_{\text{ФОП}} = 350 \cdot 8 \cdot 8 \cdot 4 = 90,00 \text{ тыс. } \text{Р}$$

Машинист экскаватора:

$$Z_{\text{ФОП}} = 300 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 1 = 5,00 \text{ тыс. } \text{Р}$$

Итого: $\sum Z_{\text{ФОП}} = 49 + 19 + 90 + 5 = 163,00 \text{ тыс. } \text{Р}$

– **Начисления на оплату труда**

Начисления на оплату труда составляют 30,28 % от ФОТ:

Итого: $Z_{\text{НОП}} = 163 \cdot 0,3028 = 49,36 \text{ тыс. } \text{Р}$

– **Амортизационные отчисления**

Амортизационные отчисления определяются стоимостью основных фондов и нормой амортизации используемого оборудования, 5–18 % (4.19).

$$Z_a = \frac{C_i \cdot N_a \cdot n_{\text{раб.дней}} \cdot n_{\text{об}}}{n_{\text{год}}}, \text{ тыс. } \text{Р}, \quad (4.19)$$

где C_i - стоимость i -го вида оборудования, млн Р;

$n_{\text{раб.дней}}$ - количество рабочих дней транспорта;

$n_{\text{об}}$ - количество оборудования;

N_a - норма амортизации годовая, 0,14 %.

Согласно постановлению Правительства РФ от 01.01.2002 N 1 (ред. от 06.07.2015) «О классификации основных средств, включаемых в амортизационные группы» грейдер, автосамосвал, экскаватор и погрузчик относятся к 4 группе: имущество со сроком полезного использования свыше 5 лет до 7 лет включительно.

Грейдер ДЗ-122:

$$Z_a = \frac{10000 \cdot 0,14 \cdot 9 \cdot 1}{365} = 34,52 \text{ тыс. } \text{Р}$$

Погрузчик фронтальный Shandong SEM 650:

$$Z_a = \frac{2150 \cdot 0,14 \cdot 4 \cdot 1}{365} = 3,30 \text{ тыс. } \text{Р}$$

Автосамосвал БелАЗ-7523:

$$Z_a = \frac{1000 \cdot 0,14 \cdot 4 \cdot 4}{365} = 6,14 \text{ тыс. } \text{Р}$$

Экскаватор ЭТЦ-201:

$$Z_{\text{зч}} = \frac{1800 \cdot 0,14 \cdot 1 \cdot 1}{365} = 0,70 \text{ тыс. } \text{Р}$$

Итого: $\sum Z_a = 34,52 + 3,30 + 6,14 + 0,70 = 44,66$ тыс. Р

– **Прочие расходы:**

Прочие расходы в сфере охраны окружающей среды составляют 3–5 % от эксплуатационных расходов, не учитывая амортизационные отчисления (4.20):

$$Z_{пр} = 0,04 \cdot (Z_{зч} + Z_t + Z_{фоп} + Z_{ноп} + Z_a), \text{ тыс. Р} \quad (4.20)$$

Итого: $Z_{пр} = 0,04 \cdot (9,57 + 696 + 163 + 49,36 + 44,66) = 38,50$ тыс. Р

III. Суммарные затраты на технический этап рекультивации составят (4.21):

$$Z_{т.э.} = Z_{кап} + Z_{мат} + Z_{фоп} + Z_{ноп} + Z_a + Z_{пр}, \text{ тыс. Р}, \quad (4.21)$$

где $Z_{кап}$ – капитальные затраты, тыс. Р;

$Z_{мат}$ – материальные затраты, тыс. Р;

$Z_{фоп}$ – затраты на фонд оплаты труда, тыс. Р;

$Z_{сн}$ – зачисления на единый социальный фонд (ЕСН), тыс. Р;

Z_a – амортизационные отчисления, тыс. Р;

$Z_{пр}$ – затраты на прочие расходы, тыс. Р

$Z_{т.э.} = 10\,788,67 + 9,57 + 696 + 163 + 49,36 + 44,66 + 38,50 = 11\,789,76$ тыс. Р

4.5.2 Затраты на биологический этап рекультивации

– Материальные затраты

Условия использования гидросеялки на биологическом этапе рекультивации представлены в табл. 4.11

Таблица 4.11

Перечень оборудования, используемого на биологическом этапе рекультивации

Наименование	Балансовая стоимость, тыс. Р	Кол-во, ед.	Кол-во дней использования оборудования
Гидросеялка Imperial 3000	Аренда	1	1

Аренда

– стоимость использования арендованной гидросеялки Imperial 3000 составит 1 тыс. Р/ч. При расчетном времени работы на посеве 2 ч., стоимость аренды составит 2 тыс. Р.

Затраты на топливо (4.22):

$$Z_T = E \cdot T \cdot C_T \cdot n \cdot N \cdot K_n \cdot n_T, \text{ тыс. } \text{Р}, \quad (4.22)$$

где: E – потребление топлива транспортом, л/ч;

T – продолжительность смены, ч;

C_T – цена топлива, Р/л;

n – количество смен в сутки;

N – количество рабочих дней в году;

K_n – коэффициент использования транспорта (во времени);

n_T – количество используемого транспорта.

Гидросялка Imperial 3000

$$Z_T = 45 \cdot 8 \cdot 34 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 8,00 \text{ тыс. } \text{Р}$$

Потребность в удобрениях, в семенах многолетних трав и саженцах кустарников и затраты на их приобретение представлены в табл. 4.12.

Таблица 4.12

Затраты на приобретение семян, удобрений и саженцев

Объект	Стоимость, Р/кг	Потребность, кг (шт.)	Общая стоимость, тыс. Р
Травосмесь	70	4 200	294,00
Удобрения	60	1 700	102,00
Древесная мульча	8	17 850	142,80
Саженцы скумпии	200	4 500	900,00
Саженцы можжевельника	180	13 500	2 430,00
Итого			3 868,80

– Фонд оплаты труда

Затраты в фонд оплаты труда рассчитывается по формуле (4.23):

$$Z_{\text{ФОП}} = T_{\text{СТ}} \cdot t \cdot N \cdot n_{\text{СМ}}, \text{ тыс. } \text{Р}, \quad (4.23)$$

где: $T_{\text{СТ}}$ – часовая тарифная ставка работника соответствующего разряда, Р/ч;

t – эффективный фонд времени работы одного работника, ч;

N – количество рабочих;

$n_{\text{СМ}}$ – количество смен.

Для проведения рекультивационных будут задействованы:

- 1 водитель гидросялки Imperial 3000 с тарифной ставкой 300 Р/ч;
- 1 оператор гидросялки Imperial 3000 с тарифной ставкой 250 Р/ч;
- 38 рабочих на посадке кустарников с тарифной ставкой 200 Р/ч.

Водитель и оператор гидросялки Imperial 3000:

$$Z_{\text{ФОП}_1} = 300 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,60 \text{ тыс. } \text{Р}$$

$$Z_{\text{ФОП}_2} = 250 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,50 \text{ тыс. } \text{Р}$$

Рабочие на посадке кустарников:

$$Z_{\text{ФОП}} = 200 \cdot 8 \cdot 38 \cdot 3 = 182,40 \text{ тыс. } \text{Р}$$

Итого: $\sum Z_{\text{ФОП}} = 0,6 + 0,5 + 182,40 = 183,5 \text{ тыс. } \text{Р}$.

– **Начисления на оплату труда**

Начисления на оплату труда составляют ~ 30,28 % от ФОТ:

Итого: $Z_{\text{НОП}} = 183,5 \cdot 0,3028 = 55,56 \text{ тыс. } \text{Р}$

– **Прочие расходы**

Прочие расходы в сфере охраны окружающей среды составляют 3–5 % от эксплуатационных расходов, не учитывая амортизационные отчисления:

Итого: $Z_{\text{пр}} = 0,04 \cdot (3\,868,80 + 183,5 + 56,56) = 164,35 \text{ тыс. } \text{Р}$

Суммарные затраты на биологический этап рекультивации (4.24):

$$Z_{\text{б.э.}} = Z_{\text{мат}} + Z_{\text{ФОП}} + Z_{\text{НОП}} + Z_{\text{а}} + Z_{\text{пр}}, \text{ тыс. } \text{Р}, \quad (4.24)$$

где $Z_{\text{мат}}$ – материальные затраты, Р;

$Z_{\text{ФОП}}$ – затраты на фонд оплаты труда, Р;

$Z_{\text{НОП}}$ – начисления на оплату труда, Р;

$Z_{\text{а}}$ – амортизационные отчисления, Р;

$Z_{\text{пр}}$ – затраты на прочие расходы, Р.

$$Z_{\text{б.э.}} = 3\,868,80 + 183,5 + 55,56 + 0 + 164,35 = 4\,272,21 \text{ тыс. } \text{Р}$$

4.5.2 Суммарные затраты на технический и биологический этапы рекультивации

Основные технико-экономические показатели, характеризующие общие затраты на выполнения проекта рекультивации откосов и террас на отвалах указаны в табл. 4.13.

Таблица 4.13

Технико-экономические показатели рекультивационных работ

Наименование	Затраты, тыс. Р
Технический этап рекультивации, тыс. Р	11 789,76
Биологический этап рекультивации, тыс. Р	4 272,21
Итого	16 061,97

Расчет эколого-экономических показателей показывает, что суммарные затраты на рекультивацию при проведении всех работ в один летний сезон составят 16,06 млн Р. При этом рассчитанная стоимостная форма размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды к настоящему времени уже составляет 176,8 млн Р. Расчетная величина общего технического риска образования селевого потока с учетом вероятности катастрофы в Новороссийской промышленной агломерации может достигать до 17,85 млн Р. Таким образом, проведение рекультивации на отвале вскрышных пород и некондиционного мергеля является экономически целесообразным мероприятием.

4.6 Мониторинг состояния рекультивированных отвалов

В течение первых пяти лет после начала рекультивации отвалов в Новороссийской промышленной агломерации проведение дополнительных мониторинговых исследований позволит определить успешность осуществления плана работ. Результат восстановительных работ должен оцениваться как по состоянию культивируемой растительности, так и по ряду физико-химических и биологических характеристик почвенного покрова (Андроханов, Курачев, 2009; Chodak, Niklinska, 2010; Ruzek et al., 2001). К основным индикаторам состояния почвы, контроль которых должен осуществляться в первые годы рекультивации, относятся: содержание органического вещества, мощность гумусового горизонта, фильтрационная способность почвы, агрегированность, рН, электропроводность, концентрации основных загрязняющих веществ – ассоциации Sr-Pb-Zn-Cu-Ba (Трещевская и др., 2011; Зеньков и др., 2017; Семина, Андроханов, 2014; Arshad, Martin, 2002; Dickinson et al., 2005; Maiti, 2013). Особое внимание необходимо уделить микробиологическим показателям состояния почвенного покрова.

Микробная активность является ключевым фактором, влияющим на функционирование всех наземных систем. Измерение скорости процессов, определяемых почвенной микрофлорой и общей метаболической активностью этих организмов, используется для оценки эффективности рекультивации (Артамонова и др., 2011; Mummey et al., 2002a). Стабильность почвенных агрегатов напрямую зависит от биомассы микроорганизмов, в связи с чем измерение продуктивности микробного сообщества позволит дать оценку качеству структуры почвы (Гродницкая и др., 2010; Izquierdo et al., 2005), а результаты изучения их популяций и метаболической

активности могут быть использованы для определения стабильности восстановленной экосистемы. Почвенные популяции микроорганизмов должны рассматриваться как один из компонентов почвы, важный для поддержания культивируемых фитоценозов. Почвенные микроорганизмы включают в себя несколько видов бактерий, активных при разложении растительного материала, а также грибковых видов, симбиотическая связь которых со многими растениями способствует ускорению циркуляции азота и фосфора. Они производят полисахариды, которые улучшают агрегацию почвы и оказывают положительное влияние на рост растений (Артамонова и др., 2011). Участки с активным почвенным микробным сообществом демонстрируют стабильную агрегацию почвы, тогда как на территориях с пониженной микробной активностью почва уплотнена и слабоагрегирована. В качестве индикатора может использоваться активность почвенных ферментов. Прямым методом изучения микробной популяции является измерение дегидрогеназной активности. Такой подход обеспечивает диагностику изменения плодородия почв, поскольку указывает на минерализацию таких важных питательных элементов, как N, P и органический C (Пивняк и др., 2011; Caravaca et al., 2003). Также в качестве индикаторных параметров для оценки состояния рекультивированных земель возможно использование биологических показателей разнообразия и биомассы сообществ микроорганизмов (Masciandaro et al., 2004). Исследование временных рядов, проведенное на пяти рекультивированных территориях добычи лигнита (Германия и Чехия), вовлеченных в промышленное использование в течение сроков от 8 до 40 лет, показали, что тип растительности и качество листового и хвойного опада определяют развитие почвенных микроорганизмов в большей степени, чем качество субстрата (Sourkova et al., 2005). Как протекание основных почвенных биологических процессов, так и образование частицами почвы стабильных агрегатов являются ключевыми факторами, влияющими на устойчивость почвенного покрова (Воробьев и др., 2010; Filip, 2002; Heras, 2009).

Почвенные бактерии играют важную роль в разложении растительного опада, особенно на ранних стадиях, когда высок уровень влажности, тогда как на более поздних стадиях важнее деятельность грибных сообществ. *Rhizobia* являются одноклеточными бактериями, образующими взаимовыгодную ассоциацию или симбиоз с бобовыми растениями. Эти бактерии поглощают азот из атмосферного воздуха и превращают его в форму азота, доступную растениям (Гродницкая и др., 2010; Gil-Sotres et al., 2005). По прошествии первых пяти лет рекультивации,

популяция бактерий на глубинах до 50 см должна удвоиться (Williamson, Johnson, 1991).

Микоризальные грибы симбиотическая ассоциация с корнями высших растений являются почвенным микроорганизмом, встречающимся почти во всех средах обитания и типах климата. Микориза может играть определенную роль в успехе рекультивации, влияя на развитие отдельных растительных ассоциаций. Сеть мицелий, создаваемая микоризными грибами, необходима для формирования фитоценоза и поглощения растениями питательных веществ, таких как фосфор и азот (Сорокин, 2016; Khan, 2005). В настоящее время для оценки микоризной активности используются несколько методов измерения длины корней, покрытых микоризными грибами (Allen, Friese, 1992). По прошествии первых двух лет рекультивации, жизнеспособность микориз в почвах отвалов значительно увеличится, в результате чего должна сформироваться микоризальная сеть.

4.7 Выводы

Рекультивация является неотъемлемой частью процесса разработки минеральных ресурсов в соответствии с принципами экологически устойчивого развития. Целью рекультивации отвалов Новороссийской промышленной агломерации является восстановление экологической целостности территории. Выполненные работы позволили дать оценку химическим, физическим и биологическим свойствам почв отвалов. На территории отвалов были выделены два типа участков: (1) субгоризонтальные выложенные 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.

Проведенный анализ возможных технологий закрепления поверхности показал, что оптимальный результат в местных условиях достигается покрытием откосов геоматом. Волоконная структура противозерозионного геомата должна состоять из нескольких слоев полипропиленовых экструдированных решеток, наложенных друг на друга и связанных с помощью полипропиленовой нити механическим или термическим способом. Такая конструкция геомата, включающая большое количество

пустот, позволит создать оптимальные условия укоренения растений после гидропосева смеси мелиорантов и семян кустарниковых растений.

Культивация можжевельно-скупиевого биоценоза была проведена на опытной пологой площадке и показала эффективность посадки данных древесных и кустарниковых растений, адаптированных к засушливым климатическим условиям Северо-Западного Кавказа.

Предлагаемые меры позволят снизить угрозу окружающей среде, уменьшив подверженность отвалов эрозионным и дефляционным процессам, а также повысить селеустойчивость насыпных массивов. Использование в рекультивации подобранных видов растений обеспечит закрепление почвенного покрова благодаря их приспособленности к местным ландшафтным условиям и способности стабилизировать структуру почвы. Развитие фитоценозов на склонах и террасах отвалов будет способствовать росту влагоемкости, развитию азотфиксирующих бактерий и микоризной ассоциации, которые являются основополагающими для поддержания качества почвы, участвуя в процессах циркуляции органических веществ, микро- и макроэлементов. Продуктивность почвы также может быть увеличена путем внесения различных стимулирующих микробную активность удобрений, таких как сено, древесные опилки, мульча из коры, древесная стружка, осадок сточных вод, навоз.

Конечным результатом производства лесонасаждений на откосах и 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 в Новороссийской промышленной агломерации 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 модели переноса сдуваемых с поверхности отвалов твердых взвешенных частиц в направлении центра и жилых районов города и накопления геохимической ассоциации Pb, Zn, Cu, Ba и Sr в городской среде.

2. Осуществлен мониторинг состояния окружающей среды промагломерации с применением биогеохимического опробования и цифрового картографирования за период 2005–2015 гг., 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.

Список литературы

Авессаломова И.А. Ландшафтно-функциональные карты при изучении геохимических аномалий в городе / И.А. Авессаломова // Вестник Моск. ун-та, серия 5 география. – 1986. – № 5. – С. 88-94.

Алексеевко А.В. Изучение состояния наземных и водных ландшафтов под влиянием разработки мергеля и цементного производства (г. Новороссийск) / А.В. Алексеевко // Экологическая безопасность горнопромышленных регионов: Тр. III Междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. горн. ун-т, 2015а. – С. 126–136.

Алексеевко А.В. Экологический мониторинг состояния городских ландшафтов под влиянием цементного производства / А.В. Алексеевко // Двадцатая Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов: сб. тез. – СПб.: Изд-во СПбГУПТД, 2015б. – С. 108.

Алексеевко А.В. Эколого-геохимические последствия карьерной разработки мергеля и производства цемента (г. Новороссийск) / А.В. Алексеевко // Школа экологической геологии и рационального недропользования. Мат-лы межвуз. науч. конф. – СПб, 2015в. – С. 138–140.

Алексеевко А.В. Ландшафтно-геохимическая оценка загрязнения почвенного покрова в зоне разработки месторождения мергеля / А.В. Алексеевко // Двадцать первая Санкт-Петербургская Ассамблея молодых ученых и специалистов: сб. тез. – СПб.: Изд-во СПбГУПТД, 2016а. – С. 102.

Алексеевко А.В. Оценка влияния добычи мергеля и производства цемента на ландшафты Новороссийской промышленной агломерации / А.В. Алексеевко // Проблемы недропользования: Сб. тр. Междунар. форума-конкурса молод. ученых. Ч. II. – СПб.: СПГУ, 2016б. – С. 194.

Алексеевко А.В. Оценка техногенной нагрузки на ландшафты Новороссийской промышленной агломерации / А.В. Алексеевко // Проблемы геологии и освоения недр: Тр. XX Междунар. симп. им. акад. М.А. Усова.– Томск: Изд-во ТПУ, 2016в. – Т. II. – С. 62–64.

Алексеевко А.В. Исследование состояния затронутых горно-перерабатывающим производством ландшафтов г. Новороссийска / А.В. Алексеевко // Сборник материалов научного семинара стипендиатов программ «Михаил Ломоносов» и «Иммануил Кант» 2016–2017 года. Германская служба академических обменов (DAAD). – М.: ФЛИНТА, 2017а. – С. 39–44.

Алексеевко А.В., Пашкевич М.А. Применение макрофитов для биогеохимического мониторинга состояния аквальных ландшафтов Цемесской бухты / А.В. Алексеевко, М.А. Пашкевич // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии. Тр. IX Междунар. биогеохим. шк. – Барнаул, 2015а. – Т. 1. – С. 250–253.

Алексеевко А.В., Пашкевич М.А. Экологическое состояние почв в различных геоморфологических условиях под воздействием цементной промышленности / А.В. Алексеевко, М.А. Пашкевич // Новые идеи в науках о Земле. Сб. докл. XII Междунар. науч.-практ. конф. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2015б. – Т. 2. – С. 221–222.

Алексеевко В.А. Экологическая геохимия / В.А. Алексеевко. – М.: Логос, 2000. – 627 с.

Алексеевко В.А. Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка / В.А. Алексеевко. – М.: Логос, 2006. – 520 с.

Алексеевко В.А. Геоботанические исследования для решения ряда экологических задач и поисков месторождений полезных ископаемых / В.А. Алексеевко. – М.: Логос, 2011. – 244 с.

Алексеевко В.А. Геоэкология. Экологическая геохимия / В.А. Алексеевко. – Ростов н/Д: Феникс, 2017б. – 685 с.

Алексеевко В.А., Алексеевко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов / В.А. Алексеевко, А.В. Алексеевко // Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2013. – 380 с.

Алексеевко В.А., Власова Е.В. Эколого-геохимическая оценка состояния Цемесской бухты / В.А. Алексеевко, Е.В. Власова // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2015. – № 2. – С. 155–163.

Алексеевко В.А., Манусова Н.Б., Алексеевко А.В. Оценка содержания металлов в почвах при различных ландшафтных условиях (Новороссийск, Россия) / В.А. Алексеевко, Н.Б. Манусова, А.В. Алексеевко // Актуальные проблемы экологической безопасности: очистка водных источников и воздушного бассейна, рециклинг твердых бытовых отходов. Тр. Междунар. конф. – Иерусалим, 2015а. – С. 9–13.

Алексеевко В.А., Манусова Н.Б., Алексеевко А.В. Управление экологической безопасностью морской акватории под влиянием цементной промышленности / В.А. Алексеевко, Н.Б. Манусова, А.В. Алексеевко // Актуальные проблемы экологической безопасности: очистка водных источников и воздушного бассейна, рециклинг твердых бытовых отходов. Тр. Междунар. конф. – Иерусалим, 2015б. – С. 19–24.

Алексеевко В.А., Суворинов А.В., Власова Е.В. Металлы в окружающей среде. Лесные ландшафты Северо-Западного Кавказа / В.А. Алексеевко, А.В. Суворинов, Е.В. Власова. – М.: Университетская книга, 2008а. – 264 с.

Алексеевко В.А., Суворинов А.В., Власова Е.В. Металлы в окружающей среде. Прибрежные аквальные ландшафты Черноморского побережья России / Алексеевко В.А., Суворинов А.В., Власова Е.В. – М.: ФГБНУ НИИ ПМТ, 2012. – 359 с.

Алексеевко В.А., Тукабаев А.А., Иващенко Н.Г. О селевой опасности района г. Новороссийска / В.А. Алексеевко, А.А. Тукабаев, Н.Г. Иващенко // Безопасность в техносфере. – 2008б. – № 3. – С. 44–47.

Андроханов В.А., Курачев В.М. Принципы оценки почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов / В.А. Андроханов, В.М. Курачев // Сибирский экологический журнал. 2009. – Т. 16. – № 2. – С. 165–169.

Артамонова В.С., Андроханов В.А., Соколов Д.А. и др. Эколого-физиологическое разнообразие микробных сообществ в техногенно-нарушенных ландшафтах Кузбасса / Артамонова В.С., Андроханов В.А., Соколов Д.А., Лютых И.В., Булгакова В.В., Бортникова С.Б., Водолеев А.С. // Сибирский экологический журнал. 2011. – Т. 18. – № 5. – С. 735–746.

Баринов А.Ю. Геоморфологическая оценка ливневой селеопасности Черноморского побережья России: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. 25.00.25. / Баринов Александр Юрьевич – М.: Географический факультет МГУ, 2009. – 24 с.

Баринов А.Ю. Геоморфологический анализ ливневой селеопасности щели Широкая Балка (Черноморское побережье Кавказа) / А.Ю. Баринов // Геоморфология. – 2010. – № 2. – С. 19–26.

Баринов А.Ю., Аш Е.В., Чистов С.В. Геолого-геоморфологические и климатические условия формирования селевых потоков на прибрежных территориях России / А.Ю. Баринов, Е.В. Аш, С.В. Чистов // Геориск. – 2011. – № 4. – С. 28–32.

Белюченко И.С. Экология Кубани / И.С. Белюченко. – Краснодар: Изд-во КГАУ, 2005. – 513 с.

Брагина П.С., Герасимова М.И. Почвообразовательные процессы на отвалах горнодобывающих предприятий (на примере юга Кемеровской области) / П.С. Брагина, М.И. Герасимова // География и природные ресурсы. – 2014. – № 1. – С. 45–51.

Бузмаков С.А. Антропогенная трансформация природной среды / С.А. Бузмаков // Географический вестник. Пермь. – 2012. – №4 (23). – С. 46–50.

Бурдин К.С., Золотухина Е.Ю. Тяжелые металлы в водных растениях (аккумуляция и токсичность) / К.С. Бурдин, Е.Ю. Золотухина. – М.: Диалог МГУ, 1998. – 202 с.

Брежнев Л.И. Воспоминания: Жизнь по заводскому гудку. Чувство Родины. Малая земля. Возрождение. Целина / Л.И. Брежнев. – М.: Политиздат, 1982. – 223 с.

Вернадский В.И. Живое вещество и биосфера / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1994. – 672 с.

Вильямсон Б. Характеристика частиц городских атмосферных выпадений с использованием автоматизированного минералогического анализа / Б. Вильямсон // Минералогия. – 2015. – № 3. – С. 83-88.

Воробьев А.Е., Чекушина Е.В., Дребенштедт К.К. и др. Геохимия техногенеза отвалов урановых рудников как основа эффективной рекультивации и утилизации заскладированной горной массы / А.Е. Воробьев, Е.В. Чекушина, К.К. Дребенштедт, Т.В. Чекушина, А.А. Щелкин – М: Российский университет дружбы народов (РУДН), 2010. – 190 с.

Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В. и др. Антропогенные почвы (генезис, география, рекультивация) / М.И. Герасимова, М.Н. Строганова, Н.В. Можарова, Т.В. Прокофьева; под ред. Г.В. Добровольского. – М.: Ойкумена, 2003. – 266 с.

Гладков Ф.В. Цемент. / Ф.В. Гладков. – М.: Советская Россия, 1980.– 248 с.

ГН 2.1.6.3492-17 Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений.

ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве.

ГН 2.1.7.2042-06 Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве.

Голик Т.В., Коваленко В.С. Методика расчета объемов работ по выполаживанию и террасированию откосов отвала при рекультивации / Т.В. Голик, В.С. Коваленко // Горный информационно-аналитический бюллетень – 2003. – № 1. – С. 38-40.

Горшков Е.В. Сравнительный анализ законодательных и других мер по снижению выбросов в атмосферный воздух мелкодисперсной пыли (PM_{2,5} и PM₁₀) в ряде зарубежных стран и российской федерации (на примере строительной отрасли) / Е.В. Горшков // Охрана окружающей среды и природопользование. – 2014. – № 2. – С. 3-17.

ГОСТ 17.5.1.02-85. Охрана природы. Земли. Классификация нарушенных земель для рекультивации. – М., 1986 – 8 с.

ГОСТ Р ИСО 13271-2016. Выбросы стационарных источников. Определение массовой концентрации твердых частиц PM₁₀/PM_{2,5} в отходящих газах. Измерение при высоких значениях массовой концентрации с применением виртуальных импакторов.

Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа, 2017. – 760 с.

Графкина М.В., Азаров А.В., Добринский Д.Р. и др. К вопросу контроля и нормирования выбросов мелкодисперсной пыли в атмосферный воздух при движении автомобильного транспорта / М.В. Графкина, А.В. Азаров, Д.Р. Добринский, Д.А. Николенко // Вестник МГСУ. – 2017. – № 4. (103). – С. 373-380.

Григорьев Н.А. Распределение элементов в верхней части континентальной коры. / Н.А. Григорьев – Екатеринбург: УРО РАН, 2009. – 383 с.

Гродницкая И.Д., Трефилова О.В., Шишикин А.С. Агрохимические и микробиологические свойства техногенных почв отвалов (Канско-Рыбинская котловина) / И.Д. Гродницкая, О.В. Трефилова, А.С. Шишикин // Почвоведение. – 2010. – № 7. – С. 867-878.

Громов В.В., Афанасьев Д.Ф. Адаптационные возможности фитоценоза цистозейры к загрязнению прибрежной зоны моря / В.В. Громов, Д.Ф. Афанасьев // 2 Междунар. конф. молод. ученых «Понт Эвксинский». Севастополь. – 2001. – С. 117-119.

Добровольский В.В. Основы биогеохимии / В.В. Добровольский – М.: Издательский центр «Академия». – 2003. – 400 с.

Донченко В.К., Иванова В.В., Питулько В.М. Эколого-геохимические особенности прибрежных акваторий / В.К. Донченко, В.В. Иванова, В.М. Питулько. – Санкт-Петербург: Изд-во НИЦЭБ, 2008. – 544 с.

Ефремов Ю.В., Чернявский А.С. Оценка селевой опасности на Черноморском побережье Кавказа / Ю.В. Ефремов, А.С. Чернявский // Тезисы научно–практической конференции грантодержателей. – Краснодар: Изд-во СИЗ, 2009. – С. 113.

Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 N 136-ФЗ (ред. от 31.12.2017)

Зеньков И.В., Нефедов Б.Н., Барадулин И.М. и др. Воздействие водной эрозии на рельеф углепородных отвалов. Восстановительные работы / И.В. Зеньков, Б.Н. Нефедов, И.М. Барадулин, В.Н. Вокин, Е.В. Кирюшина // Экология и промышленность России. – 2014. – № 6. – С. 26-29.

Зеньков И.В., Юронен Ю.П., Нефедов Б.Н. Результаты мониторинга формирования растительной экосистемы на обработанных участках Райчихинского бурогоугольного месторождения с использованием ресурсов дистанционного зондирования / И.В. Зеньков, Ю.П. Юронен, Б.Н. Нефедов // Экология и промышленность России. – 2017. – № 2. – С. 28-33.

Измалков В.И., Измалков А.В. Техногенная и экологическая безопасность и управление риском / В.И. Измалков, А.В. Измалков. – СПб, НИЦЭБ РАН, 1998. – 482 с.

Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области / В.Б. Ильин, А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 191 с.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас – М.: Мир, 1989. – 440 с.

Казеев К.Ш., Колесников С.И. Атлас почв Азово–Черноморского бассейна / Казеев К.Ш., Колесников С.И. – Ростов–на–Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. – 79 с.

Касимов Н.С. Экогеохимия ландшафтов / Н.С. Касимов. – М.: ИП Филимонов М.В., 2013. – 208 с.

Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н.С. Касимов, Д.В. Власов // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2015. – № 2. – С. 7–17.

Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Сорокина О.И. и др. Эколого-геохимическое состояние почв г. Улан-Батор (Монголия) / Н.С. Касимов, Н.Е. Кошелева, О.И. Сорокина, С.Н. Бажа, П.Д. Гунин, С. Энх-Амгалан // Почвоведение. – 2011. – №7. – С.771-784.

Корнилов А.Г., Петин А.Н., Дроздова Е.А. Геоморфологические и эколого-экономические аспекты рекультивации отвалов вскрышных пород горнодобывающих предприятий региона КМА / А.Г. Корнилов, А.Н. Петин, Е.А. Дроздова // Горный журнал. – 2014. – № 8. – С. 74-78.

Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Власов Д.В. Влияние геохимических барьеров на накопление тяжелых металлов в городских почвах / Н.Е. Кошелева, Н.С. Касимов, Д.В. Власов // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 458. – № 2. – С. 220–224.

Кречетов П.П., Дианова Т.М. Химия почв. Аналитические методы исследования: Учебное пособие / П.П. Кречетов, Т.М. Дианова – М.: Географический факультет МГУ, 2009. – 148 с.

Кропянко Л.В., Беспалова Л.А., Беспалова Е.В. Оценка состояния уникальных береговых ландшафтов Азово-Черноморского побережья по степени благоприятности природных факторов для развития хозяйственной деятельности / Л.В. Кропянко, Л.А. Беспалова, Е.В. Беспалова // Естественные и технические науки. – 2014. – № 2. – С.146-152.

Куриленко В.В., Осмоловская Н.Г. Биоиндикаторная роль высших растений при диагностике загрязнений водных экосистем (на примере малых водоемов Санкт-Петербурга) / В.В. Куриленко, Н.Г. Осмоловская // Водные ресурсы. – 2007. – Т.34. – № 7. – С.1-8.

Лычагин М.Ю. Касимов Н.С., Курьякова А.Н. и др. Геохимические особенности аквальных ландшафтов дельты Волги / М.Ю. Лычагин, Н.С. Касимов, А.Н. Курьякова, С.Б. Крооненберг // Известия РАН. Серия географическая. – 2011. – № 1. – С. 100-113.

Любимова Т.В., Бондаренко Н.А., Погорелов А.В. Интегральная оценка сложности инженерно-геологических условий территории Краснодарского края / Т.В. Любимова, Н.А. Бондаренко, А.В. Погорелов // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – № 121. – С. 2031-2044.

Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды / Н.Г. Максимович, Е.А. Хайрулина. – Пермь, 2011. – 247 с.

Малинина Т.А., Дюков А.Н., Голядкина И.В. Применение полимеров для закрепления эродируемых субстратов при рекультивации техногенных ландшафтов курской магнитной аномалии / Т.А. Малинина, А.Н. Дюков, И.В. Голядкина // Лесотехнический журнал. – 2012. – № 3. – С. 50-54.

Маремуха Т.П., Петросян А.А. Загрязнение атмосферного воздуха фракциями мелкодисперсной пыли (PM10 и PM2,5) в районе функционирования угольной ТЭС / Т.П. Маремуха, А.А. Петросян // Здоровье и окружающая среда. – 2016. – № 26. – С. 39-42.

Методика исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды (с изменениями на 25 апреля 2014 года) // Российская газета. №154. 11.07.2014.

Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территорий городов химическими элементами. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 112 с.

Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1999. – 32 с.

Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв / Г.В. Мотузова, О.С. Безуглова. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – 237 с.

Мотузова Г.В., Карпова Е.А. Химическое загрязнение биосферы и его экологические последствия / Г.В. Мотузова, Е.А. Карпова. – М.: Изд-во МГУ, 2013. – 304 с.

Мурзин А.Д. Эколого-экономические риски урбанизированных территорий как объект анализа и управления / А.Д. Мурзин // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 1(9). – С. 126–141.

Нагалеvский Э.Ю., Нагалеvский Ю.Я., Папенко И.Н. География земельных мелиораций Краснодарского края / Э.Ю. Нагалеvский, Ю.Я. Нагалеvский, И.Н. Папенко. – Краснодар: КубГАУ, 2004. – 256 с.

Нагалеvский Ю.Я., Чистяков В.И. Физическая география Краснодарского края / Ю.Я. Нагалеvский, В.И. Чистяков. – Краснодар: «Северный Кавказ», 2003. – 256 с.

Намазбаева З.И., Базелюк Л.Т., Ешмагамбетова А.Б. и др. Взвешенные вещества атмосферы и донозологические изменения у детей промышленного города / З.И. Намазбаева, Л.Т. Базелюк, А.Б. Ешмагамбетова, А.М. Пудов // Токсикологический вестник. – 2013. – № 3. – С. 15-20.

Опекунов А.Ю. Методологические принципы эколого-геохимического мониторинга геологической среды континентального шельфа / А.Ю. Опекунов // Разведка и охрана недр. – 2005. – № 6. – С. 60-64.

Опекунова М.Г. Биоиндикация загрязнений / М.Г. Опекунова. – СПб.: изд-во СПб., 2004. – 266 с.

Орехова Н.Н., Осинцев Н.А. Снижение вредного воздействия автотранспорта в час пик на воздушный бассейн в городе Магнитогорске / Н.Н. Орехова, Н.А. Осинцев // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – Т.6. – № 1 (7). – С. 29–33.

Остроумов С.А., Соломонова Е.А. Взаимодействие загрязняющих воду веществ с макрофитами: метод определения допустимых нагрузок / С.А. Остроумов, Е.А. Соломонова // Вода: химия и экология. – 2012. – № 10. – С. 53-60.

Отраслевой дорожный методический документ. «Рекомендации по применению геосинтетических материалов при строительстве и ремонте автомобильных дорог». РОСАВТОДОР. Москва. 2003

Панина О.В. Техногенное загрязнение углеводородами геозкосистемы Черного моря и стратегия его ликвидации (на примере Цемесской бухты) / О.В. Панина // Геология, география и глобальная энергия. – 2006. – № 4. – С. 56-59.

Панков Я.В., Трещевская Э.И., Трещевская С.В. Опыт использования сосны обыкновенной при рекультивации промышленных отвалов Курской магнитной аномалии / Я.В. Панков, Э.И. Трещевская, С.В. Трещевская // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 76. – С. 787-798.

Панькова Е.С. Использование водорослей в мониторинге качества прибрежных вод Черноморского побережья (Краснодарский край) / Е.С. Панькова // Докл. МОИП. Т.50: Геология, география, экология, организация практик. М.: РУДН. – 2013. – С. 208-212.

Панькова Е.С., Камнев А.Н., Голубева Е.И. Особенности распределения тяжелых металлов в бурой водоросли *Cystoseira barbata* (Анапский район Краснодарского края) / Е.С. Панькова, А.Н. Камнев, Е.И. Голубева // Международный научно-популярный журнал Европа-Азия. Науки о земле. – 2015. – № 5 (14). – С. 25–28.

Пашкевич М.А. Техногенные массивы и их воздействие на окружающую среду / М.А. Пашкевич. – СПб.: СПГИ (ТУ), 2000. – 230 с.

Пашкевич М.А. Геохимия техногенеза: Учебное пособие / М.А. Пашкевич. – СПб.: СПГИ (ТУ), 2007. – 72 с.

Пашкевич М.А., Алексеенко А.В. Мониторинг загрязнения почв в районе воздействия ОАО «Новоросцемент» / М.А. Пашкевич, А.В. Алексеенко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015а. – № 10. – С. 369–376.

Пашкевич М.А., Алексеенко А.В. Мониторинг загрязнения почв и прибрежных вод при добыче мергеля и производстве цемента (г. Новороссийск) / М.А. Пашкевич, А.В. Алексеенко // Горнодобывающая промышленность, проблемы геохимической

экологии, сохранения биоразнообразия и ООПТ: Мат-лы IV Междунар. конф. – Бишкек–Каракол, 2015б. – С. 38–42.

Пашкевич М.А., Алексеенко А.В. Использование макрофитов для эколого-геохимического мониторинга состояния Цемесской (Новороссийской) бухты / М.А. Пашкевич, А.В. Алексеенко // Вода: химия и экология. – 2016. – № 2. – С. 18–23.

Пашкевич М.А., Алексеенко А.В., Власова Е.В. 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. – 2015. – № 3. – С. 67–80.

Пашкевич М.А., Алексеенко А.В., Петрова Т.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. – 2018. – Вып. 1. – С. 23–35.

Пашкевич М.А., Ю.В. Баркан, Р.Э. Шариков Экологические проблемы мегаполисов и промышленных агломераций: Учеб. пос. / М.А. Пашкевич, М.Ш. Баркан, Ю.В. Шариков, Р.Э. Дашко, И.Б. Мовчан. – СПб.: С.-Петербур. гос. горный ин-т им. Г.В. Плеханова, 2010. – 202 с.

Пашкевич Н.В., Пашкевич М.А., Петрова Т.А. Управление эколого-экономическим риском негативного воздействия отходов горно-металлургического производства / Н.В. Пашкевич, М.А. Пашкевич, Т.А. Петрова // Записки Горного института. – 2005. – Т.166. – С. 68–70.

Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов – М.: Астрей-2000, 1999. – 762 с.

Перов В.Ф., Бударина О.И., Сидорова Т.Л. и др. Карта селевых бассейнов Северного Кавказа. Масштаб 1:200 000. / В.Ф. Перов, О.И. Бударина, Т.Л. Сидорова, И.Б. Сейнова // МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, 2012.

Пивняк Г.Г., Гуменик И.Л., Дребенштедт К. и др. Научные основы рационального природопользования при открытой разработке месторождений / Г.Г. Пивняк, И.Л. Гуменик, К. Дребенштедт, А.И. Панасенко // Днепрпетровск: НГУ, 2011. – 566 с.

Рихванов Л.П. Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учетом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов / Л.П. Рихванов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2017. – 437 с.

Рыбаков Ю.С., Федоров М.В., Рыбаков А.Ю. Геотехнологический метод химической рекультивации отвалов свинцово-цинковых руд и пород / Ю.С. Рыбаков, М.В. Федоров, А.Ю. Рыбаков // Известия Уральского государственного экономического университета. – 2010. – № 2 (28). – С. 168-174.

Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Саэт, Б.А. Ревич, Е.П. Янин, Р.С. Смирнова, И.Л. Башаркевич, Т.Л. Онищенко, Л.Н. Павлова, Н.Я. Трефилова, А.И. Ачкасов, С.Ш. Саркисян; под ред. А.И. Перельмана. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

Семина И.С., Андроханов В.А. О рекультивации нарушенных земель на разрезах Кузбасса / И.С. Семина, В.А. Андроханов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 12. – С. 307-314.

Середина В.П., Андроханов В.А., Алексеева Т.П. и др. Экологические аспекты биологической рекультивации почв техногенных экосистем Кузбасса / В.П. Середина, В.А. Андроханов, Т.П. Алексеева, Л.Н. Сысоева, Т.И. Бурмистрова, Н.М. Трунова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2008. – № 2. – С. 61-72.

Симакова У.В. Влияние рельефа дна на сообщества цистозеры Северо-Кавказского побережья Черного моря / У.В. Симакова // *Океанология*. – 2009. – Т. 49. – № 5. – С. 672-680.

Скляренко В.К., Прудников В.М. Экономика предприятия / В.К. Скляренко, В.М. Прудников. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 528 с.

Сорокин Н.Д. Рекультивация нарушенных и загрязненных земель / Н.Д. Сорокин. – СПб: Знание, 2016. – 404 с.

Стреляева А.Б., Лаврентьева Л.М., Лупиногин В.В. и др. Исследования запыленности в жилой зоне, расположенной вблизи промышленных предприятий частицами РМ10 и РМ2,5 / А.Б. Стреляева, Л.М. Лаврентьева, В.В. Лупиногин, И.А. Гвоздков // *Инженерный вестник Дона*. – 2017. – Т. 45. – № 2 (45). – С. 154.

Сысо А.И. О возможностях использования геохимических критериев в почвоведении / А.И. Сысо // *Сибирский экологический журнал*. – 2003. – №2. – С. 135-144.

Теюбова В.Ф. Эколого-фитоценотическая характеристика макрофитобентоса Новороссийской бухты (Черное море) / В.Ф. Теюбова // *Известия ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. – 2010. – № 6. – С. 78–84.

Тильба А.П. Растительность Краснодарского края / А.П. Тильба // Краснодар: Изд-во Кубан. гос. ун-та, 1981. – 84 с.

Тимофеев И.В., Кошелева Н.Е., Бажа С.Н., и др. Геохимическая трансформация почвенного покрова в районе добычи медно–молибденовых руд (г. Эрдэнэт, Монголия) / И.В. Тимофеев, Н.Е. Кошелева, С.Н. Бажа, С. Энх–Амгалан // *Инженерные изыскания*. – 2014. – № 12. – С. 26–35.

Тоичкин А.М., Фирсов Ю.К. Морфометрические характеристики бурой водоросли *Cystoseira barbata* как показатель качества прибрежных вод Черного моря / А.М. Тоичкин, Ю.К. Фирсов // *Экология моря*. – 2008. – 76. – С. 54–60.

Торопов П.А., Шестакова А.А. Оценка качества моделирования новороссийской боры с помощью WRF-ARW/ П.А. Торопов, А.А. Шестакова // *Метеорология и гидрология*. – 2014. – №7. – С. 38–51.

Тохтарь В.К., Мартынова Н.А., Корнилов А.Г. и др. Опыт разработки эффективных способов биологической рекультивации отвалов ГОКов на юге Среднерусской возвышенности / В.К. Тохтарь, Н.А. Мартынова, А.Г. Корнилов, А.Н. Петин // *Проблемы региональной экологии*. – 2012. – № 2. – С. 83-86.

Трещевская Э.И., Тихонова Е.Н. Биологическая продуктивность древесных пород в насаждениях техногенных ландшафтов Курской магнитной аномалии / Э.И. Трещевская, Е.Н. Тихонова // *Лесотехнический журнал*. – 2015. – Т. 5. – № 3 (19). – С. 122-130.

Трещевская Э.И., Трещевский И.В., Панков Я.В. Повышение плодородия субстратов в промышленных отвалах Курской магнитной аномалии / Э.И. Трещевская, И.В. Трещевский, Я.В. Панков. – Воронеж: ВГЛА, 2011. – 187 с.

Тунакова Ю.А., Новикова С.В., Шагидуллин А.Р. и др. Способ нейросетевого расчета концентрации мелкодисперсной фракции пыли в приземном слое атмосферного воздуха мегаполисов / Ю.А. Тунакова, С.В. Новикова, А.Р. Шагидуллин, О.Н. Кузнецова // *Вестник Технологического университета*. – 2017. – Т. 20. – № 17. – С. 134-138.

Чернявский А.С., Ефремов Ю.В. Закономерности распространения селевых процессов на Черноморском побережье Кавказа / А.С. Чернявский, Ю.В. Ефремов // *Геоморфология*. – 2010. – № 2. – С. 60–69.

Шадрунова И.В., Зелинская Е.В., Волкова Н.А., и др. Горнопромышленные отходы: ресурсный потенциал и технологии переработки (на примере Сибири и Урала) /

И.В. Шадрунова, Е.В. Зелинская, Н.А. Волкова, Н.Н. Орехова // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения – 2017) Материалы Международной научной конференции. – 2017. – С. 15–21.

Шестакова А.А., Моисеенко К.Б., Торопов П.А. Гидродинамические аспекты эпизодов новороссийской ботры 2012–2013 гг / А.А. Шестакова, К.Б. Моисеенко, П.А. Торопов // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2015. – Т.51. – № 5. – С. 602–614.

Шныпарков А.Л., Колтерманн П.К., Селиверстов Ю.Г., и др. Селевой риск на Черноморском побережье Кавказа / А.Л. Шныпарков, П.К. Колтерманн, Ю.Г. Селиверстов, С.А. Сократов, В.Ф. Перов // Геориск. – 2012. – №4. – С. 20–25

Шуляков Д.Ю., Чернявский А.С. Роль оползневых процессов и обвалов в формировании селей на территории Краснодарского края / Д.Ю. Шуляков, А.С. Чернявский // Геология, география и глобальная энергия. – 2008. – № 1. – С. 145–148.

Юсупов Д.В., Радомская В.И., Павлова Л.М., и др. Тяжелые металлы в пылевом аэрозоле северо–западной промышленной зоны г. Благовещенска (Амурская область) / Д.В. Юсупов, В.И. Радомская, Л.М. Павлова, Н.В. Трутнева, С.С. Ильенко // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т.27. – № 10. – С. 906–910.

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR), 2007. Toxicological Profile for Arsenic. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA.

Ajmone-Marsan F., Biasioli M. Trace elements in soils of urban areas / F. Ajmone-Marsan, M. Biasioli // Water Air Soil Pollut. – 2010. – V.213. – P. 121-143.

Alekseenko A.V. Geochemical consequences of marl mining and cement production in Novorossiysk city (Southern Russia) / A.V. Alekseenko // Проблемы недропользования. Сб. науч. тр. междунар. форума-конкурса молод. ученых. Ч. 2. – СПб.: 2017 – С. 41–43.

Alekseenko A.V., Pashkevich M.A. Ecological state of soils in various geomorphological conditions under the influence of cement industry / A.V. Alekseenko, M.A. Pashkevich // Selected reports of XII international conference «New Ideas in Earth Sciences». – Moscow, 2015. – P. 223–224.

Alekseenko A.V., Pashkevich M.A. Novorossiysk agglomeration landscapes and cement production: geochemical impact assessment / A.V. Alekseenko, M.A. Pashkevich // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – V. 43. – № 1. – P. 2050.

Alekseenko V., Alekseenko A. The abundances of chemical elements in urban soils / V. Alekseenko, A. Alekseenko // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – № 147 (B). – P. 245–249.

Alekseenko V.A., Manusova N.B., Alekseenko A.V. Ecological safety management of sea water areas under the influence of cement production / V.A. Alekseenko, N.B. Manusova, A.V. Alekseenko // Int. Conf. «Current Issues of Ecological Safety: Cleaning of Water Sources and Air Basin; Recycling of Municipal Solid Waste». – Jerusalem, 2015a. – P. 17–21.

Alekseenko V.A., Manusova N.B., Alekseenko A.V. Soil pollution under the impact of cement industry in various relief conditions / V.A. Alekseenko, N.B. Manusova, A.V. Alekseenko // Int. Conf. «Current Issues of Ecological Safety: Cleaning of Water Sources and Air Basin; Recycling of Municipal Solid Waste». – Jerusalem, 2015b. – P. 9–12.

Alekseenko V.A., Maximovich N.G., Alekseenko A.V. Geochemical Barriers for Soil Protection in Mining Areas / V.A. Alekseenko, N.G. Maximovich, A.V. Alekseenko // In: Bech J., Bini C., Pashkevich M.A. (Eds.): Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils, Academic Press. – 2017a. – P. 255–274.

Alekseenko V.A., Pashkevich M.A., Alekseenko A.V. Metallisation and environmental management of mining site soils / V.A. Alekseenko, M.A. Pashkevich, A.V. Alekseenko // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2017b. – № 174. – P. 121–127.

Alekseenko V.A., Shvydkaya N.V., Alekseenko A.V., et.al. Natural Restoration of Mining Influenced Soils in the Northwestern Caucasus, Russia / V.A. Alekseenko, N.V. Shvydkaya, A.V. Alekseenko, S.B. Yashchinin // In: *Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils*, Academic Press. – 2017c. – P. 275–296.

Allen M.F., Friese C.F. Mycorrhize and reclamation success: importance and measurement / M.F. Allen, C.F. Friese // In: *Evaluating reclamation success: the ecological considerations*, USDA Forest Service General Technical Report. – 1992. – P. 17-25.

Almeida S., Lage J., Fernandez B., et. al. Chemical characterization of atmospheric particles and source apportionment in the vicinity of a steelmaking industry / S. Almeida, J. Lage, B. Fernandez, S. Garcia, M. Reis, P. Chaves // *Sci. Total Environ.* – 2015. – V.521. – P. 411-420.

Amato F., Pandolfi M., Escrig A., et. al. Quantifying road dust resuspension in urban environment by Multilinear Engine: A comparison with PMF2 / F. Amato, M. Pandolfi, A. Escrig, X. Querol, A. Alastuey, J. Pey, N. Perez, P.K. Hopke // *Atmos. Environ.* – 2009. – V.43. – P. 2770–2780.

Ander E.L., Johnson C.C., Cave M.R., et. al. Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil / E.L. Ander, C.C. Johnson, M.R. Cave, B. Palumbo-Roe, C.P. Nathanail, R.M. Lark // *Sci. Total Environ.* – 2013. – V.454. – P. 604-618.

Arshad M.A., Martin, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems / M.A. Arshad, S. Martin // *Agric. Ecosyst. Environ.* – 2002. – V.88. – №2 – P. 153–160.

Augusto S., Gonzalez C., Vieira R., et. al. Evaluating sources of PAHs in urban streams based on land use and biomonitors / S. Augusto, C. Gonzalez, R. Vieira, C. Maguas, C. Branquinho // *Environ. Sci. Technol.* – 2011. – V.45. – P. 3731-3738.

Bangian A. H., Ataei M., Sayadi A., et. al. Optimizing post-mining land-use for pit area in open-pit mining using fuzzy decision making method / A. H. Bangian, M. Ataei, A. Sayadi, A. Gholinejad // *International Journal of Environmental Science and Technology*. – 2012. – V.9. – P. 613-628.

Barber L.B., Murphy S.F., Verplanck P.L., et. al. Chemical loading into surface water along a hydrological, biogeochemical, and land use gradient: a holistic watershed approach / L.B. Barber, S.F. Murphy, P.L. Verplanck, M.W. Sandstrom, H.E. Taylor, E.T. Furlong // *Environ. Sci. Technol.* – 2006. – V.40. – P. 475-486.

Barcelo J., Poschenrieder C. Phytoremediation: principles and perspectives / J. Barcelo, C. Poschenrieder // *Contribution to Science*. – 2003. – V.2. – P. 333-344.

Barnes R.T., Raymond P.A. The contribution of agricultural and urban activities to inorganic carbon fluxes within temperate watersheds / R.T. Barnes, P.A. Raymond // *Chem. Geol.* – 2009. – V.266. – P. 318-327.

Bech J., Tume P., Roca N., et. al. Geochemical distribution of potentially harmful elements in periurban soils of a Mediterranean region: Manresa (Catalonia, Spain) / J. Bech, P. Tume, N. Roca, F. Reverter // *Fresenius Environmental Bulletin*. – 2015. – V.24. – №12A. – P. 4379–4389

Belis C., Karagulian F., Bo L. Critical review and meta-analysis of ambient particulate matter source apportionment using receptor models in Europe / C. Belis, F. Karagulian, L. Bo, P. Hopke // *Atmos. Environ.* – 2013. – V.69. – P. 94–108.

Berger J.J. *Environmental restoration science and strategies for restoring the Earth*. Island Press / J.J. Berger. – Washington, D.C. – 1990. – 398 pp.

Bettez N.D., Groffman P.M., Denitrification potential in stormwater control structures and natural riparian zones in an urban landscape / N.D. Bettez, P.M. Groffman // *Environ. Sci. Technol.* – 2012. – V.46. – P. 10909-10917.

Bolshunova T.S., Rikhvanov L.P., Mezhibor A.M., et. al. Biogeochemical features of epiphytic lichens from the area of the tailing of a gold-polymetallic deposit (Kemerovo region, Russia) comparative to a reference area / T.S. Bolshunova, L.P. Rikhvanov, A.M. Mezhibor, N.V. Baranovskaya, D.V. Yusupov // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 17, Ecology, Economics, Education and Legislation.* – 2017. – P. 165–172.

Boutt D., Hyndman D., Pijanowski B., et. al. Modeling impacts of land use on groundwater and surface water quality / D. Boutt, D. Hyndman, B. Pijanowski, D. Long // *Ground Water.* – 2001. – V.39. – P. 24-34.

Bradshaw A.D. (1990). The reclamation of derelict land and the ecology of ecosystems. In *Restoration ecology: A synthetic approach to ecological research* / A.D. Bradshaw, Edited by W.R. Jordan, M.E. Gilpin, J.D. Aber // Cambridge University Press. – 1990. – P. 53–74.

Buonanno G., Fuoco F.C., Morawska L., et. al. Airborne particle concentrations at schools measured at different spatial scales / G. Buonanno, F.C. Fuoco, L. Morawska, L. Stabile // *Atmos. Environ.* – 2013. – V.67. – P.38–45.

Butterwick L., de Oude N., Raymond K. Safety assessment of boron in aquatic and terrestrial environments / L. Butterwick, N. de Oude, K. Raymond // *Ecotoxicol. Environ. Saf.* – 1989. – V.17. – №3. – P. 339-371.

Cao X. Regulating mine land reclamation in developing countries: The case of China / X. Cao // *Land-use Policy.* – 2007. – V.24. – №2. – P. 472-483.

Caravaca F., Alguacil M.M., Figueroa D., et. al. Re-establishment of *retama sphaerocarpa* as a target species of reclamation of soil physical and biological properties in a semi-arid mediterranean land / F. Caravaca, M.M. Alguacil, D. Figueroa, J.M. Barea, A. Roldan // *Forest Ecology and Management.* – 2003. – V.182. – №1. – P. 49-58.

Caravaca F., Hernandez M.T., Garcia C., et. al. Improvement of rhizosphere aggregates stability of afforested semi- arid, plant species subjected to mycorrhizal inoculation and compost addition / F. Caravaca, M.T. Hernandez, C. Garcia, A. Roldan // *Geoderma.* – 2002. – V.108. – P. 133-144.

Carey J., Fulweiler R Human activities directly alter watershed dissolved silica fluxes / J. Carey, R. Fulweiler // *Biogeochemistry.* – 2012. – V.111. – P. 125-138.

Cevik U., Damla N., Van Grieken R., et. al. Chemical composition of building materials used in Turkey / U. Cevik, N. Damla, R. Van Grieken, M.V. Akpınar // *Constr. Build. Mater.* – 2011. – V.25. – P. 1546-1552.

Chambers L.G., Chin Y.P., Filippelli G.M. et al. Developing the scientific framework for urban geochemistry / L.G. Chambers, Yu-P. Chin, G.M. Filippelli, Ch.B. Gardner, E.M. Herndon, D.T. Long, W. Berry Lyons, G.L. Macpherson, Sh.P. McElmurry, C.E. McLean, J. Moore, R.P. Moyer, K.N., C.A. Nezat, K. Soderberg, N. Teutsch, E. Widom // *Applied Geochemistry.* – 2016. – V.67. – P. 1-20.

Chaney R.L., Angle J.S., Broadhurst C.L., et. al. Improved understanding of hyperaccumulation yields commercial phytoextraction and phytomining technologies / R.L. Chaney, J.S. Angle, C.L. Broadhurst, C.A. Peters, R.V. Tappero, L.S. Donald // *Journal Environmental Quality.* – 2007. – V.36. – P. 1429-1443.

Cheng H., Hu Y. Mercury in municipal solid waste in China and its control: a review. *Environ* / H. Cheng, Y. Hu // *Sci. Technol.* – 2012. – V.46. – P.593-605.

Chetelat B., Gaillardet J., Freydier R. Use of B isotopes as a tracer of anthropogenic emissions in the atmosphere of Paris, France / B. Chetelat, J. Gaillardet, R. Freydier // *Appl. Geochem.* – 2009. – V.24. – P. 810-820.

Chodak M., Niklinska M. Effect of texture and tree species on microbial properties of mine soils / M. Chodak, M. Niklinska // *Appl. Soil Ecol.* – 2010. – V.46. – P. 268–275.

Cloquet C., Carignan J., Libourel G. Isotopic composition of Zn and Pb atmospheric depositions in an urban/periurban area of northeastern France / C. Cloquet, J. Carignan, G. Libourel // *Environ. Sci. Technol.* – 2006. – V.40. – P. 6594-6600.

Coates W. Tree species selection for a mine tailings bioremediation project in Peru / W. Coates // *Biomass Bioenergy.* – 2005. – V.28. – №4. – P. 418-423.

Conesa H.M., Garcia G., Faz A., et. al. Dynamics of metal tolerant plant communities' development in mine tailings from the Cartagena-La Union Mining District (SE Spain) and their interest for further revegetation purposes / H.M. Conesa, G. Garcia, A. Faz, R. Arnaldos // *Chemosphere.* – 2007. – V.68. – P. 1180-1185.

Cooke J.A., Johnson M. S. Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice / J.A. Cooke, M.S. Johnson // *Environ. Rev.* – 2002. – V.10. – P. 41-71.

Corsi S.R., De Cicco L.A., Lutz M.A., et. al. River chloride trends in snow-affected urban watersheds: increasing concentrations outpace urban growth rate and are common among all seasons / S.R. Corsi, L.A. De Cicco, M.A. Lutz, R.M. Hirsch // *Sci. Total Environ.* – 2015. – V.508. – P. 488-497.

Dall'Osto M., Thorpe A., Beddows D.C.S., et. al. Remarkable dynamics of nanoparticles in the urban atmosphere / M. Dall'Osto, A. Thorpe, D.C.S. Beddows, R.M. Harrison, J.F. Barlow, T. Dunbar, P.I. Williams, H. Coe // *Atmos Chem Phys* 2011. – V.11. – P. 6623–6637.

Davies R., Younger A. The effect of different post- restoration cropping regimes on some physical properties of a restored soil / R. Davies, A. Younger // *Soil Use and Management.* – 1994. – V.10. – P. 55-60.

Davis A.P., Shokouhian M., Ni S. Loading estimates of lead, copper, cadmium, and zinc in urban runoff from specific sources / A.P. Davis, M. Shokouhian, S. Ni // *Chemosphere.* – 2001. – V.44. – P. 997-1009.

de Vos E., Edwards S.J., McDonald I., et. al. A baseline survey of the distribution and origin of platinum group elements in contemporary fluvial sediments of the Kentish Stour, England / E. de Vos, S.J. Edwards, I. McDonald, D.S. Wray, P.J. Carey // *Appl. Geochem.* – 2002. – V.17. – P. 1115-1121.

Defra. Adapting to climate change in England: a framework for action PB13137. London: Department for Environmental and Rural Affairs HM Government; 2008.

Diamond M.L., Hodge E. Urban contaminant dynamics: from source to effect / M.L. Diamond, E. Hodge // *Environ. Sci. Technol.* – 2007. – V.41. – P. 3796-3800.

Dickinson N.M., Hartly W., Uffindell L.A., et. al. Robust biological descriptors of soil health for use in reclamation of brownfield land / N.M. Dickinson, W. Hartly, L.A. Uffindell, A.N. Plumb, H. Rawlinson, P. Putwain // *Land Contam. Reclam.* – 2005. – V.13. – №4. – P. 317–326.

Divers M.T., Elliott E.M., Bain D.J. Constraining nitrogen inputs to urban streams from leaking sewers using inverse modelling: implications for dissolved inorganic nitrogen (DIN) retention in urban environments / M.T. Divers, E.M. Elliott, D.J. Bain // *Environ. Sci. Technol.* – 2013. – V.47. – P. 1816-1823.

Doley D., Audet P., Mulligan D.R. Examining the Australian context for post-mined land rehabilitation: Reconciling a paradigm for the development of natural and novel ecosystems among post-disturbance landscape / D. Doley, P. Audet, D.R. Mulligan // *Agriculture, Ecosystems and Environment.* – 2012. – V.163. – P. 85–93.

Duan S., Kaushal S.S., Groffman P.M., et. al. Phosphorus export across urban rural gradient Chesap. Bay watershed / S. Duan, S.S. Kaushal, P.M. Groffman, L.E. Band, K.T. Belt // *J. Geophys. Res. Biogeosci.* – 2012. – V.117. – P. 2005-2012.

Dubiella-Jackowska A., Namiesnik J., Platinum group elements in the environment: emissions and exposure / A. Dubiella-Jackowska, J. Namiesnik // *Anonymous Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* – 2009. – V.199. – P. 1-25.

Filip Z. International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters / Z. Filip // *Agriculture, Ecosystems and Environment.* – 2002. – V.88. – P. 169-174.

Filippelli G.M. The global phosphorus cycle: past, present, and future / G.M. Filippelli // *Elements.* – 2008. – V.4. – №2. – 89-95.

Finlayson-Pitts B.J., Pitts J.N. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere-Theory, Experiments, and Applications / B.J. Finlayson-Pitts, J.N. Pitts. . – Academic Press: San Diego, CA. – 2000. – 969 p.

Fitzpatrick M., Long D., Pijanowski B. Exploring the effects of urban and agricultural land use on surface water chemistry, across a regional watershed, using multivariate statistics / M. Fitzpatrick, D. Long, B. Pijanowski // *Appl. Geochem.* – 2007. – V.22. – P. 1825-1840.

Flury M., Papritz A., Bromide in the natural environment: occurrence and toxicity / M. Flury, A. Papritz // *J. Environ. Qual.* – 1993. – V.22. – №4. – P. 747-758.

Fujitani Y., Kumar P., Tamura K., et al. Seasonal differences of the atmospheric particle size distribution in a metropolitan area in Japan / Y. Fujitani, Kumar P., K. Tamura, A. Fushimi, S. Hasegawa, K. Takahashi, K. Tanabea, Sh. Kobayashia, S. Hiranoa // *Sci Total Environ.* – 2012. – V.437. – P. 339–347.

Gallagher F.J., Pechmann I., Bogden J.D., et. al. Soil metal concentrations and vegetative assemblage structure in an urban brownfield / F.J. Gallagher, I. Pechmann, J.D. Bogden, J. Grabosky, P. Weis // *Environ. Pollut.* – 2008. – V.153. – P. 351-361.

Gallagher M.T., Snodgrass J.W., Ownby D.R., et. al. Watershed-scale analysis of pollutant distributions in stormwater management ponds / M.T. Gallagher, J.W. Snodgrass, D.R. Ownby, A.B. Brand, R.E. Casey, S. Lev // *Urban Ecosyst.* – 2011. – V.14. – P. 469-484.

Gasperi J., Garnaud S., Rocher V., et. al. Priority pollutants in wastewater and combined sewer overflow / J. Gasperi, S. Garnaud, V. Rocher, R. Moilleron // *Sci. Total Environ.* – 2008. – V.407. – P. 263-272.

Ghose M.K. Soil conservation for rehabilitation and revegetation of mine-degraded land / M.K. Ghose // *TIDEE – TERI Information Digest on Energy and Environment.* – 2005. – V.4. – №2. – P. 137-150.

Gil-Sotres F., Trasar-Cepeda C., Leiros M.C., et. al. Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties / F. Gil-Sotres, C. Trasar-Cepeda, M.C. Leiros, S. Seoane // *Soil Biology and Biochemistry.* – 2005. – V. 37. – P. 877-887.

Golding S. A survey of zinc concentrations in industrial stormwater runoff / S. Golding. – Washington State Department of Ecology, Olympia, WA. – 2006. –70 p.

Goody D., Macdonald D., Lapworth D., et. al. Nitrogen sources, transport and processing in peri-urban floodplains / D. Goody, D. Macdonald, D. Lapworth, S. Bennett, K. Griffiths // *Sci. Total Environ.* – 2014. – V.494. – P. 28-38.

Guagliardi I., Cicchella D., De Rosa R. A geostatistical approach to assess concentration and spatial distribution of heavy metals in urban soils / I. Guagliardi, D. Cicchella, R. De Rosa // *Water Air Soil Pollut.* – 2012. – V.223. – P. 5983-5998.

Hao X.Z., Zhou D.M., Wang, Y.J., et. al. Study of rye grass in copper mine tailing treated with peat and chemical fertilizer / X.Z. Hao, D.M. Zhou, Y.J. Wang, H.M. Chen // *Acta Pedol Sin.* – 2004. – V.41. – №4. – P. 645-648.

Harris J.P., Birch P., Short K.C. Changes in the microbial community and physio-chemical characteristics of top soils stockpiled during opencast mining / J.P. Harris, P. Birch, K.C. Short // *Soil Use Management*. – 1989. – V.5. – P. 161-168.

Heatwole K.K., McCray J.E., Modeling potential vadose-zone transport of nitrogen from onsite wastewater systems at the development scale / K.K. Heatwole, J.E. McCray // *J. Contam. Hydrol.* – 2007. – V.91. – №1. – P. 184-201.

HEI review panel on ultrafine particles. Understanding the health effects of ambient ultrafine particles. HEI Perspectives, 2013, 3. Boston, MA: Health Effects Institute.

Heras M.M.L. Development of soil physical structure and biological functionality in mining spoils affected by soil erosion in a Mediterranean-Continental environment / M.M.L. Heras // *Geoderma*. – 2009. – V.149. – P. 249-256.

Hope A.J., McDowell W.H., Wollheim W.M. Ecosystem metabolism and nutrient uptake in an urban, piped headwater stream / A.J. Hope, W.H. McDowell, W.M. Wollheim // *Biogeochemistry*. – 2014. – V.121. – P. 167-187.

Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update / Z. Hu, S. Gao // *Chem. Geol.* – 2008. – V. 253. – Iss. 3-4. – P. 205-221.

ICRP publication 66: human respiratory tract model for radiological protection. A report of a task group of the International Commission on Radiological Protection, 1994. p. 1-482.

Izquierdo I., Caravaca F., Alguacil M.M., et. al. Use of microbiological indicators for evaluating success in soil restoration after revegetation of a mining area under subtropical conditions / I. Izquierdo, F. Caravaca, M.M. Alguacil, G. Hernandez, A. Roldan // *Applied Soil Ecology*. – 2005. – V.30. – P. 3-10.

James L.A., Legacy sediment: definitions and processes of episodically produced anthropogenic sediment / L.A. James // *Anthropocene*. – 2013. – V.2. – P. 16-26.

Janke B.D., Finlay J.C., Hobbie S.E., et. al. Contrasting influences of stormflow and baseflow pathways on nitrogen and phosphorus export from an urban watershed / B.D. Janke, J.C. Finlay, S.E. Hobbie, L.A. Baker, R.W. Sterner, D. Nidzgorski, B.N. Wilson // *Biogeochemistry*. – 2014. – V.121. – P. 209-228.

Jiang Y.J. Sources of sulfur in the Nadong underground river system, southwest China: a chemical and isotopic reconnaissance / Y.J. Jiang // *Appl. Geochem.* – 2012. – V.27. – P. 1463-1470.

Johnson D.B., Williamson J.C. Conservation of mineral nitrogen in restored soils at opencast mines sites: I. Result from field studies of nitrogen transformations following restoration / D.B. Johnson, J.C. Williamson // *European Journal of Soil Science*. – 1994. – V.45. – P. 311-317.

Jordan F.L., Robin-Abbott M., Maier R.M., et. al. A comparison of chelator-facilitated metal uptake by a halophytes and a glycophyte / F.L. Jordan, M. Robin-Abbott, R.M. Maier, E.P. Glenn // *Environment Toxicology Chemistry*. – 2002. – V.21. – P. 2698-2704.

Kalmykova Y., Harder R., Borgstedt H., et. al. Pathways and management of phosphorus in urban areas / Y. Kalmykova, R. Harder, H. Borgstedt, I. Svanang // *J. Ind. Ecol.* – 2012. – V.16. – №6. – P. 928-939.

Kannan K., Johnson-Restrepo B., Yohn S.S., et. al. Spatial and temporal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from Michigan inland lakes / K. Kannan, B. Johnson-Restrepo, S.S. Yohn, J.P. Giesy, D.T. Long // *Environ. Sci. Technol.* – 2005. – V. 39. – P. 4700-4706.

Karagulian F., Belis C.A., Dora C.F.C., et. al. Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level / F. Karagulian, C.A. Belis, C.F.C. Dora, A.M. Pruss-Ustun, S. Bonjour, H. Adair-Rohani, M. Amann // *Atmospheric Environment*. – 2015. – V.120. – P. 475-483.

Kaushal S.S., Groffman P.M., Likens G.E., et. al. Increased salinization of fresh water in the northeastern United States / S.S. Kaushal, P.M. Groffman, G.E. Likens, K.T. Belt, W.P. Stack, V.R. Kelly, L.E. Band, G.T. Fisher // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* – 2005. – V.102. – P. 13517-13520.

Kaushal S.S., McDowell W.H., Wollheim W.M. Tracking evolution of urban biogeochemical cycles: past, present, and future / S.S. Kaushal, W.H. McDowell, W.M. Wollheim // *Biogeochemistry*. – 2014. – V.121. – P. 1-21.

Kavamura V.N., Esposito E. Biotechnological strategies applied to the decontamination of soil polluted with heavy metals / V.N. Kavamura, E. Esposito // *Biotechnology Advances*. – 2010. – V.28. – P. 61-69.

Kaye J.P., Groffman P.M., Grimm N.B., et. al. A distinct urban biogeochemistry? / J.P. Kaye, P.M. Groffman, N.B. Grimm, L.A. Baker, R.V. Pouyat // *Trends Ecol. Evol.* – 2006. – V.21. – №4. – P. 192-199.

Kemsley J.N. Road markings / J.N. Kemsley // *Chem. Eng. News*. – 2010. – V.88. – P. 67.

Khan A.G. Mycotrophy and its significance in wetland ecology and wetland management. In: M.H. Wong (Ed.). *Developments in ecosystems*. Volume 1. Northhampton, UK: Elsevier, 2004. – P. 97-114.

Khan A.G. Role of soil microbes in the rhizospheres of plants growing on trace element contaminated soils in phytoremediation / A.G. Khan // *J. Trace Elem. Med. Biol.* – 2005. – V.18. – №4. – P. 355-364.

Kolpin D.W., Skopec M., Meyer M.T., et. al. Urban contribution of pharmaceuticals and other organic wastewater contaminants to streams during differing flow conditions / D.W. Kolpin, M. Skopec, M.T. Meyer, E.T. Furlong, S.D. Zaugg // *Sci. Total Environ.* – 2004. – V.328. – P. 119-130.

Kulmala M., Kontkanen J., Junninen H., et al. Direct observations of atmospheric aerosol nucleation / M. Kulmala, J. Kontkanen, H. Junninen, K. Lehtipalo, H.E. Manninen, T. Nieminen, T. Petäjä, M. Sipilä, S. Schobesberger, P. Rantala, A. Franchin, T. Jokinen, E. Järvinen, M. Äijälä, J. Kangasluoma, J. Hakala, P.P. Aalto, P. Paasonen, J. Mikkilä, J. Vanhanen, J. Aalto, H. Hakola, U. Makkonen, T. Ruuskanen, R.L. Mauldin, J. Duplissy, H. Vehkamäki, J. Bäck, A. Kortelainen, I. Riipinen, T. Kurtén, M.V. Johnston, J.N. Smith, M. Ehn, T.F. Mentel, K.E. Lehtinen, A. Laaksonen, V.M. Kerminen, D.R. Worsnop // *Science*. – 2013. – V.339. – P. 943-946.

Kulmala M., Vehkamäki H., Petaja T., et al. Formation and growth rates of ultrafine atmospheric particles: a review of observations / M. Kulmala, H. Vehkamäki, T. Petaja, M. Dal Maso, A. Lauri, V-M. Kerminen, W. Birmili, P.H. McMurry // *J Aerosol Sci.* – 2004. – V.35. – P. 143-76.

Kumala M., Asmi A., Lappalainen H.K., et al. General overview: general overview European Integrated project on Aerosol Cloud Climate and Air Quality interactions (EUCAARI) — integrating aerosol research from nano to global scales / M. Kumala, A. Asmi, H.K. Lappalainen, U. Baltensperger, J-L. Brenguier, M.C. Facchini // *Atmos Chem Phys*. – 2011. – V.11. – P.13061-13143.

Kumar P., Robin A., Vardoulaki S., et. al. Technical challenges in tackling regulatory concerns for urban atmospheric nanoparticles / P. Kumar, A. Robins, S. Vardoulakis, P. Quince // *Particuology*. – 2011. – V.9. – P. 566-571.

Lark R., Scheib C. Land use and lead content in the soils of London / R. Lark, C. Scheib // *Geoderma*. – 2013. – V.209. – P. 65-74.

Li M.S. Ecological restoration of mineland with particular reference to the metalliferous mine wasteland in China: a review of research and practice / M.S. Li // *Soil Total Environment*. – 2006. – V.357. – P. 38-53.

Lyons W.B., Harmon R.S. Why urban geochemistry? / W.B. Lyons, R.S. Harmon // *Elements*. – 2012. – V.8. – P. 417-422.

Lytle C., Smith B., McKinnon C. Manganese accumulation along Utah roadways: a possible indication of motor vehicle exhaust pollution / C. Lytle, B. Smith, C. McKinnon // *Sci. Total Environ.* – 1995. – V.162. – P. 105-109.

Maczkowiack R. I., Smith C. S., Slaughter G. J., et. al. Grazing as a postmining land-use: A conceptual model of the risk factors / R. I. Maczkowiack, C.S. Smith, G.J. Slaughter, D.R. Mulligan, D.C. Cameron // *Agricultural Systems*. – 2012. – V.109. – P. 76-89.

Madejon E., de Mora A.P., Felipe E., et. al. Soil amendments reduce trace element solubility in a contaminated soil and allow regrowth of natural vegetation / E. Madejon, A.P. de Mora, E. Felipe, P. Burgos, F. Cabrera // *Environment Pollution*. – 2006. – V.139. – P. 40-52.

Mahler B.J., Van Metre P.C., Bashara T.J., et. al. Parking lot sealcoat: an unrecognized source of urban PAHs / B.J. Mahler, P.C. Van Metre, T.J. Bashara, J.T. Wilson, D.A. Johns // *Environ. Sci. Technol.* – 2005. – V.39. – P. 5560-5566.

Maiti S.K. *Ecorestoration of the Coalmine Degraded Lands* / S.K Maiti. – New York: Springer, 2013. – 361 pp.

Maiti S.K., Ghose M.K. Ecological restoration of acidic coal mine overburden dumps- an Indian case study / S.K. Maiti, M.K. Ghose, // *Land Contamination and Reclamation*. – 2005. – V.134. – P. 361-369.

Mapping the Chemical Environment of Urban Areas / C.C. Johnson, A. Demetriades, J. Locutura, R.T. Ottesen (Eds). – 2011. Noida: John Wiley & Sons. – 616 p.

Masciandaro G., Ceccanti B., Benedicto S., et. al. Enzyme activity and C and N pools in soil following application of mulches / G. Masciandaro, B. Ceccanti, S. Benedicto, H.C. Lee, F. Cook // *Can. J. Soil Sci.* – 2004. – V.84. – P. 19–30.

Masoumi I., Rashidinejad F. Preference ranking of post mining land-use through LIMA framework. 9th International Conference on Clean Technologies for the Mining Industry, 2011, 10-12 April. Santiago, Chile: Clean mining. P. 1-16.

Mborah C., Bansah K.J., Boateng M.K. Evaluating Alternate Post-Mining Land-Uses: A Review / C. Mborah, K.J. Bansah, M.K. Boaten // *Environment and Pollution*. – 2016. – V.5. – №1. – P. 14-22

McElmurry S.P., Long D.T., Voice T.C Stormwater dissolved organic matter: influence of land cover and environmental factors / S.P. McElmurry, D.T. Long, T.C. Voice // *Environ. Sci. Technol.* – 2014. – V.48. – P. 45-53.

Mendez M.O., Maier R.M. Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments / M.O. Mendez, R.M. Maier // *Reviews Environmental Science and Biotechnology*. – 2008. – V.7. – P. 47-59.

Mertens J., Van Nevel L., De Schrijver A., et. al. Tree species effect on the redistribution of soil metals / J. Mertens, L. Van Nevel, A. De Schrijver, F. Piesschaert, A. Oosterbean, F.M.G. Tack, K. Verheyen // *Environmental Pollution*. – 2007. – V.149. – №2. – P. 173-181.

Meuser H. *Contaminated Urban Soils* / H. Meuser. – Dordrecht: Springer. – 2010. – 318 p.

Meyer J.L., Paul M.J., Taulbee W.K., Stream ecosystem function in urbanizing landscapes / J.L. Meyer, M.J. Paul, W.K. Taulbee // *J. N. Am. Benthol.* – 2005. – V.24. – P. 602-612.

Mielke H.W., Laidlaw M.A., Gonzales C., Lead (Pb) legacy from vehicle traffic in eight California urbanized areas: continuing influence of lead dust on children's health / H.W. Mielke, M.A. Laidlaw, C. Gonzales // *Sci. Total Environ.* – 2010. – V.408. – P. 3965-3975.

Minguillón M.C., Campos A.A., Cárdenas B., et. al. Mass concentration, composition and sources of fine and coarse particulate matter in Tijuana, Mexico, during Cal-Mex campaign /

M.C. Minguilló, A.A. Campos, B. Cárdenas, S. Blanco, L.T. Molina, X. Querol // *Atmos Environ.* – 2014. – V.88. – 320–329.

Moller P., Paces T., Dulski P., et. al. Anthropogenic Gd in surface water, drainage system, and the water supply of the city of Prague, Czech Republic / P. Moller, T. Paces, P. Dulski, G. Morteani // *Environ. Sci. Technol.* – 2002. – V.36. – №11. – P. 2387-2394.

Moore J., Lev S.M., Casey R.E. Modeling the Effects of road salt on soil, aquifer, and stream chemistry / J. Moore, S.M. Lev, R.E. Casey // *Conference proceedings for MODFLOW and More. Colorado School of Mines.* – Golden, 2013. – P. 5.

Moore M.N. Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment? / M.N. Moore // *Environment International.* – 2006. – V.32. – №8. – P. 967–976.

Moreno-de las Heras M., Nicolau J.M., Espigares M.T. Vegetation succession in reclaimed coal mining sloped in a Mediterranean-dry environment / M. Moreno-de las Heras, J.M. Nicolau, M.T. Espigares // *Ecological Engineering.* – 2008. – V.34. – P. 168-178.

Moynahan O.S., Zabinski C.A., Gannon J.E. Microbial community structure and carbon-utilization diversity in a mine tailings revegetation study / O.S. Moynahan, C.A. Zabinski, J.E. Gannon // *Restoration Ecology.* – 2002. – V.10. – P. 77-87.

Mummey D.L., Stahl P.D., Buyer J.S. Microbial biomarkers as an indicator of ecosystem recovery following surface mine reclamation / D.L. Mummey, P.D. Stahl, J.S. Buyer // *Applied Soil Ecology.* – 2002a. – V.21. – P. 251-259.

Mummey D.L., Stahl P.D., Buyer J.S. Soil microbiological properties 20 years after surface mine reclamation: spatial analysis of reclaimed and undisturbed sites / D.L. Mummey, P.D. Stahl, J.S. Buyer // *Soil Biology and Biochemistry.* – 2002b. – V. 34. – P. 1717-1725.

Nakada N., Kiri K., Shinohara H., et. al. Evaluation of pharmaceuticals and personal care products as water-soluble molecular markers of sewage / N. Nakada, K. Kiri, H. Shinohara, A. Harada, K. Kuroda, S. Takizawa, H. Takada // *Environ. Sci. Technol.* – 2008. – V.42. – P. 6347-6353.

Narrei S., Osanloo M. Post-mining land-use methods optimum ranking, using multi attribute decision techniques with regard to sustainable resources management / Narrei S., Osanloo M // *OIDA International Journal of Sustainable Development.* – 2011. – V.2. – №11. – P. 66-76.

Neira P., Cobelo-García A., Besada V., et. al. Evidence of increased anthropogenic emissions of platinum: time-series analysis of mussels (1991-2011) of an urban beach / P. Neira, A. Cobelo-García, V. Besada, J. Santos-Echeandía, J. Bellas // *Sci. Total Environ.* – 2015. – V.514. – P. 366-370.

Novak M., Mikova J., Krachler M., et. al. Radial distribution of lead and lead isotopes in stem wood of Norway spruce: a reliable archive of pollution trends in Central Europe / M. Novak, J. Mikova, M. Krachler, J. Kosler, L. Erbanova, E. Prechova, I. Jackova, D. Fottova // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 2010. – V.74. – P. 4207-4218.

Nriagu J.O., Pacyna J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals / J.O. Nriagu, J.M. Pacyna // *Nature.* – 1988. – V.333. – №6169. – P. 134-139.

O'Dowd C.D., Aalto P., Hameri K., et. al. Aerosol formation: atmospheric particles from organic vapours / C.D. O'Dowd, P. Aalto, K. Hameri, M. Kulmala, T. Hoffmann // *Nature.* – 2002. – V.416. – P. 497–498.

Paasonen P., Visschedjik A., Kupiainen K., et al. Aerosol particle number emissions and size distributions: implementation in the GAINS model and initial results / P. Paasonen, A. Visschedjik, K. Kupiainen, Z. Klimont, H.D. van der Gon, M. Kulmala / *IASA interim report.* – 2013. – 23 p.

Padmavathiamma P.K., Li L.Y. Phytoremediation technology: Hyperaccumulation metals in plants / P.K. Padmavathiamma, L.Y. Li // *Water Air Soil Pollution*. – 2007. – V.184. – P. 105-126.

Pashkevich M.A. Classification and Environmental Impact of Mine Dumps / M.A. Pashkevich // In: Bech J., Bini C., Pashkevich M.A. (Eds.): *Assessment, Restoration and Reclamation of Mining Influenced Soils*, Academic Press. – 2017. – P. 1–32

Pashkevich M.A., Petrova T.A. The investigation of toxic waste burial polygon impact on the atmospheric air using lichenoidication method (Russia) / M.A. Pashkevich, T.A. Petrova // *Int. J. Ecol. Dev.* – 2015. – №30 (3). – P. 98–105.

Peters N.E. Effects of urbanization on stream water quality in the city of Atlanta, Georgia, USA / N.E. Peters // *Hydrol. Process.* – 2009. – V.23. – P. 2860-2878.

Piedrahita R., Xiang Y., Masson N., et. al. The next generation of low-cost personal air quality sensors for quantitative exposure monitoring / R. Piedrahita, Y. Xiang, N. Masson, J. Ortega, A. Collier, Y. Jiang, K. Li, R. Dick, Q. Lv, M. Hannigan // *Atmos. Meas. Tech.* – 2014. – V.7. – P. 3325-3336.

Pikaar, I., Sharma, K.R., Hu, S., Gernjak, W., Keller, J., Yuan, Z., 2014. Reducing sewer corrosion through integrated urban water management. *Science* 345, 812-814.

Pirjola L., Paasonen P., Pfeiffer D., et. al. Dispersion of particles and trace gases nearby a city highway: Mobile laboratory measurements in Finland / L. Pirjola, P. Paasonen, D. Pfeiffer, T. Hussein, K. Hämeri, T. Koskentalo, A. Virtanen, T. Rönkkö, J. Keskinen, T.A. Pakkanen, R.E. Hillamo // *Atmos Environ.* – 2006. – V.40. – P. 867–879

Pöschl U. Atmospheric Aerosols: Composition, Transformation, Climate and Health Effects / U. Pöschl // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2005. – V.44. – P. 7520 – 7540.

Pouyat R.V., Yesilonis I.D., Szlavecz K., et. al. Response of forest soil properties to urbanization gradients in three metropolitan areas / R.V. Pouyat, I.D. Yesilonis, K. Szlavecz, C. Csuzdi, E. Hornung, Z. Korso's, J. Russell-Anelli, V. Giorgio // *Landsc. Ecol.* – 2008. – V.23. – P. 1187-1203.

Pulford I. D., Watson C. Phytoremediation of heavy metal-contaminated land trees-a review / I. D. Pulford, C. Watson // *Environmental International*. – 2003. – V.29. – P. 529-540.

Raes F., Dingenen R.V., Vignati E., et. al. Formation and cycling of aerosols in the global troposphere / F. Raes, R.V. Dingenen, E. Vignati, J. Wilson, J.-P. Putaud, J.H. Seinfeld, P. Adams // *Atmospheric Environment*. – 2000. – V.34. – P. 4215-4240.

Rauch J.N., Pacyna J.M. Earth's global Ag, Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn cycles / J.N. Rauch, J.M. Pacyna // *Glob. Biogeochem. Cycles*. – 2009. – V.23. – P. 1-16

Ressler T., Wong J., Roos J., et. al. Quantitative speciation of Mn-bearing particulates emitted from autos burning (methylcyclopentadienyl) manganese tricarbonyl-added gasolines using XANES spectroscopy / T. Ressler, J. Wong, J. Roos, I.L. Smith // *Environ. Sci. Technol.* – 2000. – V.34. – 950-958.

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust / R.L. Rudnick, S. Gao // *Treatise on Geochemistry. The Crust*. Elsevier Sci. – 2003. – V.3. – P. 1–64.

Ruzek L., Vorisek K., Sixta J. Microbial biomass-C in reclaimed soil of the Rhineland (Germany) and the north Bohemian lignite mining areas (Czech Republic): measured and predicted values / L. Ruzek, K. Vorisek, J. Sixta // *Restor. Ecol.* – 2001. – V.9. – P. 370–377.

Sabaliauskas K., Jeong C-H., Yao X., et. al. Five-year roadside measurements of ultrafine particles in a major Canadian city / K. Sabaliauskas, C-H. Jeong, X. Yao, Y-S. Jun, P. Jadidian, G.J. Evans // *Atmos. Environ.* – 2012. – V.49. – P. 245–56.

Schmidt U. Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation, and leaching of heavy metals / U. Schmidt // *Journal Environmental Quality*. – 2003. – V.32. – P. 1939-1954.

Seinfeld J.H., Pandis S.N. Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change, 2nd edition / J.H. Seinfeld, S.N. Pandis. – Wiley, New York. – 2006. – 1152 p.

Sheoran A.S., Sheoran V., Poonia P. Rehabilitation of mine degraded land by metallophytes / A.S. Sheoran, V. Sheoran, P. Poonia // *Mining Engineers Journal*. – 2008. – V.10. – №3. – P. 11-16.

Sheoran V., Sheoran A.S., Poonia P. Phytomining: A review / V. Sheoran, A.S. Sheoran, P. Poonia // *Minerals Engineering*. – 2009. – V.22. – №12. – P. 1007–1019.

Sheoran V., Sheoran A.S., Poonia P. Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: a review / V. Sheoran, A.S. Sheoran, P. Poonia // *International Journal of Soil, Sediment and Water*. – 2010. – V.3. – №2. – P.1-20.

Shu W.S., Xia H.P., Zhang Z.Q., et. al. Use of vetiver and other three grasses for revegetation of Pb/Zn mine tailings: field experiment / W.S. Shu, H.P. Xia, Z.Q. Zhang, M.H. Wong // *International Journal of Phytoremediation*. – 2002. – V.4. – №1. – P. 47-57.

Silvestry-Rodriguez N., Sicairos-Ruelas E.E., Gerba C.P., et. al. Silver as a disinfectant / N. Silvestry-Rodriguez, E.E. Sicairos-Ruelas, C.P. Gerba, K.R. Bright // In: *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. Springer, New York – 2007. – P. 23-45.

Singh A.N., Singh J.S. Experiments on ecological restoration of coal mine spoil using native trees in a dry tropical environment, India: a synthesis / A.N. Singh, J.S. Singh // *New Forests*. – 2006. – V.31. – №1. – P. 25-39.

Six J., Bossuyt H., Degryze S., et. al. A history of research on the link between aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics / J. Six, H. Bossuyt, S. Degryze, K. Denef // *Soil and Tillage Research*. – 2004. – V.79. – P. 7-31.

Soltanmohammadi H., Osanloo M., Bazzazi A.A. An analytical approach with a reliable logic and a ranking policy for post-mining land-use determination / H. Soltanmohammadi, M. Osanloo, A.A. Bazzazi // *Land-use Policy*. – 2010. – V.27. – №2. – P. 364-372.

Song S.Q., Zhou X., Wu H., et. al. Application of municipal garbage compost on revegetation of tin tailings dams / S.Q. Song, X. Zhou, H. Wu, Y.Z. Zhou // *Rural Eco-Environment*. – 2004. – V.20. – №2. – P. 59-61.

Sourkova M., Frouz J., Fettweis U., et. al. Soil development and properties of microbial biomass succession in reclaimed post mining sites near Sokolov (Czech Republic) and near Cottbus (Germany) / M. Sourkova, J. Frouz, U. Fettweis, O. Bens, R.F. Hutl, H. Santruckova // *Geoderma*. – 2005. – V.129. – P. 73-80.

Steele M.K., Aitkenhead-Peterson J.A. Long-term sodium and chloride surface water exports from the Dallas/Fort Worth region / M.K. Steele, J.A. Aitkenhead-Peterson // *Sci. Total Environ*. – 2011. – V.409. – P. 3021-3032.

Sydnor M.E.W., Redente E.F. Reclamation of high-elevation, acidic mine waste with organic amendments and topsoil / M.E.W. Sydnor, E.F. Redente // *Environ. Qual*. – 2002. – V.31. – P. 1528-1537.

Tabor M.L., Newman D., Whelton A.J. Stormwater chemical contamination caused by cured-in-place pipe (CIPP) infrastructure rehabilitation activities / M.L. Tabor, D. Newman, A.J. Whelton // *Environ. Sci. Technol*. – 2014. – V.48. – P. 10938-10947.

Teixeira E.C., Agudelo-Castaneda D.M., Mattiuzi C.D.P. Contribution of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) sources to the urban environment: a comparison of receptor models / E.C. Teixeira, D.M. Agudelo-Castaneda, C.D.P. Mattiuzi // *Sci. Total Environ*. – 2015. – V.538. – P. 212-219.

Telgmann L., Sperling M., Karst U. Determination of gadolinium-based MRI contrast agents in biological and environmental samples: a review / L. Telgmann, M. Sperling, U. Karst // *Anal. Chim. Acta.* – 2013. – V.764. – P. 1-16.

Thornton I. Metal contamination of soils in urban areas / I. Thornton // In: Bullock, P., Gregory, P.J. (Eds.): *Soils in the Urban Environment*. British Society of Soil Science. Blackwell Scientific Publications, Oxford. – 1991. – P. 47-75.

Timofeev I.V., Kosheleva N.E., Kasimov N.S. et al. Geochemical transformation of soil cover in copper–molybdenum mining areas (Erdenet, Mongolia) / I.V. Timofeev, N.E. Kosheleva, N.S. Kasimov, P.D. Gunin, E.-A. Sandag // *Journal of Soils and Sediments.* – 2015. – V. 16. – №. 4. – P. 1225–1237.

Tippler C., Wright I.A., Davies P.J., et. al. The influence of concrete on the geochemical qualities of urban streams / C. Tippler, I.A. Wright, P.J. Davies, A. Hanlon // *Mar. Freshw. Res.* – 2014. – V. 65. – P. 1009-1017.

Tordoff G.M., Baker A.J.M., Willis A.J. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes / G.M. Tordoff, A.J.M. Baker, A.J. Willis // *Chemosphere.* – 2000. – V.41. – P. 219–228.

Turer D., Maynard J.B., Sansalone J.J. Heavy metal contamination in soils of urban highways comparison between runoff and soil concentrations at Cincinnati, Ohio / D. Turer, J.B. Maynard, J.J. Sansalone // *Water Air Soil Pollut.* – 2001. – V.132. – P. 293-314.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2015. *World Urbanization Prospects: the 2014 Revision*, (ST/ESA/SER.A/366).

Viana M., Pandolfi M., Minguillón M.C., et. al. Inter-comparison of receptor models for PM source apportionment: Case study in an industrial area / M. Viana, M. Pandolfi, M.C. Minguillón, X. Querol, A. Alastuey, E. Monfort, I. Celades // *Atmos. Environ.* – 2008. – V.42. – P. 3820–3832.

Vystavna Y., Huneau F., Schaefer J., et. al. Distribution of trace elements in waters and sediments of the Seversky Donets transboundary watershed (Kharkiv region, Eastern Ukraine) / Y. Vystavna, F. Huneau, J. Schaefer, M. Motelica-Heino, G. Blanc, A. Larrose, Y. Vergeles, D. Diadin, P. Le Coustumer // *Appl. Geochem.* – 2012. – V.27. – №10. – P. 2077-2087.

Wang J., Guo P., Li X. Source identification of lead pollution in the atmosphere of Shanghai city by analyzing single aerosol particles (SAP) / J. Wang, P. Guo, X. Li, J. Zhu, T. Reinert, J. Heitmann, D. Spemann, J. Vogt, R.-H. Flammeyer, T. Butz // *Environ. Sci. Technol.* – 2000. – V.34. – P. 1900-1905.

Ward N.I. Multielement contamination of British motorway environments / N.I. Ward // *Sci. Total Environ.* – 1990. – V.93. – P. 393-401.

Wedepohl K.H. The composition of the continental crust / K.H. Wedepohl // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* – 1995. – V.59. – №7. – P.1217-1232.

Wedepohl K.H. The composition of the continental crust / K.H. Wedepohl // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1995. – V. 59. – № 7. – P. 1217–1232.

WHO, 2014. *Burden of Disease from Ambient Air Pollution for 2012, Description of Method*, Version 1.3. WHO, Geneva.

Wicke D., Cochrane T.A., O'Sullivan A.D. Effect of age and rainfall pH on contaminant yields from metal roofs / D. Wicke, T.A. Cochrane, A.D. O'Sullivan, S. Cave, M. Derksen // *Water Sci. Technol.* – 2014. – V.69. – P. 2166-2173.

Williamson J.C., Johnson D.B. Microbiology of soils at opencast sites: II. Population transformations occurring following land restoration and the influence of rye grass/ fertilizer amendments / J.C. Williamson, D.B. Johnson // *Journal Soil Science.* – 1991. – V.42. – P. 9-16.

Wright I., Davies P., Findlay S., et. al. A new type of water pollution: concrete drainage infrastructure and geochemical contamination of urban waters / I. Wright, P. Davies, S. Findlay, O. Jonasson // *Mar. Freshw. Res.* – 2011. – V.62. – P. 1355-1361.

Yang Y., Pathirathna P., Siriwardhane T., et. al. Real-time subsecond voltammetric analysis of Pb in aqueous environmental samples / Y. Yang, P. Pathirathna, T. Siriwardhane, S.P. McElmurry, P. Hashemi // *Anal. Chem.* – 2013. – V.85. – P. 7535-7541.

Yesilonis I., Pouyat R., Neerchal N. Spatial distribution of metals in soils in Baltimore, Maryland: role of native parent material, proximity to major roads, housing age and screening guidelines / I. Yesilonis, R. Pouyat, N. Neerchal // *Environ. Pollut.* – 2008. – V.156. – P. 723-731.

Yohn S., Long D., Fett J., et. al. Regional versus local influences on lead and cadmium loading to the Great Lakes region / S. Yohn, D. Long, J. Fett, L. Patino // *Appl. Geochem.* – 2004. – V.19. – P. 1157-1175.

Электронные ресурсы:

База данных о мировом климате. – URL: <http://www.worldclimate.com>

Географическая онлайн энциклопедия. – URL: <http://www.miakom.ru>

Географическая онлайн энциклопедия. – URL: <http://www.wikimapia.org>

Информационный туристический портал. – URL: <http://www.strana.ru>

Официальный сайт Агентства охраны окружающей среды США. – URL: <http://www.epa.gov>

Официальный сайт Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского. – URL: <http://www.vsegei.com>

Официальный сайт группы компаний «МИАКОМ». – URL: <http://www.spectehnika-info.ru>

Официальный сайт группы компаний «РосСпецТех». – URL: <http://www.rosspecteh.ru>

Официальный сайт производителя аналитического оборудования TSI Inc. – URL: <http://www.tsi.com>

Официальный сайт производителя мелиоративного оборудования. – URL: <http://www.warnerelectric.com>

Полховская Т.Ю., Шевченко А.А. Классификация рисков проектного финансирования и стратегии их минимизации / Т.Ю. Полховская, А.А. Шевченко // *Инженерный вестник Дона.* – 2012. – № 3. – URL: www.ivdon.ru

Bray E.L., 2015. *Minerals Yearbook - Aluminum.* – URL: www.minerals.usgs.gov

Edelstein D.L., 2013. *Minerals Yearbook - Copper.* – URL: www.minerals.usgs.gov

Gambogi, J., 2014. *2014 Minerals Commodities Summary - Rare Earths.* – URL: www.minerals.usgs.gov

Guberman, D.E., 2013. *Minerals Yearbook - Lead.* – URL: www.minerals.usgs.gov

Tolcin A.C., 2013. *Minerals Yearbook - Cadmium.* – URL: www.minerals.usgs.gov

Tolcin A.C., 2014. *Minerals Yearbook - Zinc.* – URL: www.minerals.usgs.gov

Приложение А

Содержания химических элементов в поверхностных горизонтах почв Новороссийской промышленной агломерации, мг/кг

№ п/п	Шифр пробы	As	Ba	Bi	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	W	Zn
1	N-01	30	3000	1,0	20	80	60	40	2,0	50	100	8	800	80	10	300
2	N-02	20	1000	1,5	15	60	60	50	2,0	50	50	5	1000	80	5	150
3	N-03	20	1000	1,0	50	80	80	40	2,0	50	80	6	1000	60	10	300
4	N-04	20	600	1,0	15	80	50	50	2,0	30	30	4	1000	60	4	100
5	N-05	30	1000	1,5	30	80	80	60	2,0	60	30	5	500	100	6	200
6	N-06	20	1500	1,0	20	60	50	60	2,0	50	50	4	1000	60	5	100
7	N-07	20	1500	2,0	20	80	100	40	2,0	40	150	5	800	60	15	300
8	N-08	50	3000	1,5	50	100	300	30	5,0	50	200	10	800	80	10	600
9	N-09	20	1500	1,0	15	60	80	40	2,0	40	60	5	1000	60	6	100
10	N-10	30	1000	1,5	20	80	150	40	3,0	50	60	6	1000	60	10	300
11	N-11	20	1000	1,5	30	80	60	50	2,0	50	60	5	800	80	10	300
12	N-12	40	800	1,5	20	150	200	40	6,0	50	60	5	1500	60	4	600
13	N-13	20	800	1,5	20	60	50	50	2,0	50	20	4	1000	60	4	100
14	N-14	30	600	1,0	15	80	40	50	2,0	30	30	4	1000	60	4	80
15	N-15	20	800	1,0	20	60	60	50	3,0	40	30	5	1000	60	4	150
16	N-16	20	1000	1,5	30	80	80	50	2,0	50	200	10	1000	80	10	300
17	N-17	30	600	2,0	15	80	50	50	2,0	50	20	4	1000	80	4	100
18	N-18	20	1000	1,0	15	50	40	40	1,0	30	40	4	1000	30	4	100
19	N-19	20	800	1,0	15	60	50	50	2,0	40	20	4	1000	60	6	80
20	N-20	20	800	1,0	20	100	80	50	2,0	50	50	5	800	80	15	150

Продолжение таблицы А

№ п/п	Шифр пробы	As	Ba	Bi	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	W	Zn
21	N-21	20	1000	1,5	20	80	100	50	2,0	60	60	6	1000	80	6	300
22	N-22	30	1000	1,0	15	60	80	40	2,0	40	200	6	1000	60	4	200
23	N-23	20	500	1,5	30	100	80	60	3,0	60	60	5	400	150	5	300
24	N-24	20	600	1,5	20	100	60	50	2,0	50	40	5	800	100	5	150
25	N-25	30	1000	1,0	20	80	60	50	2,0	50	50	5	800	60	5	150
26	N-26	20	1000	1,5	15	60	50	50	2,0	40	50	4	1000	60	4	80
27	N-27	20	1000	1,0	15	60	60	50	2,0	40	100	6	800	60	5	400
28	N-28	20	1000	1,5	20	80	60	60	2,0	50	40	5	800	60	4	100
29	N-29	30	1000	1,5	20	80	80	60	2,0	60	100	5	600	80	4	100
30	N-30	20	600	1,5	15	80	50	60	2,0	50	20	4	1000	80	4	100
31	N-31	30	800	1,5	20	80	60	60	2,0	50	40	5	800	60	5	150
32	N-32	20	1000	1,5	20	80	50	60	2,0	50	20	4	800	60	3	100
33	N-33	20	1000	1,0	15	60	50	50	2,0	30	30	5	1000	60	6	150
34	N-34	20	1500	1,5	30	100	80	50	2,0	50	600	6	800	80	8	300
35	N-35	20	1000	1,5	15	80	60	50	2,0	50	50	5	1000	60	4	300
36	N-36	20	1500	1,5	30	80	50	60	2,0	50	60	5	800	60	6	300
37	N-37	20	600	1,5	15	80	50	50	2,0	50	20	5	600	80	8	100
38	N-38	20	1000	1,5	20	50	50	50	2,0	40	30	4	1000	50	3	80
39	N-39	20	1000	1,5	20	80	60	50	3,0	50	150	6	800	60	8	200
40	N-40	20	800	2,0	20	60	60	60	2,0	50	30	5	800	60	5	100
41	N-41	30	1000	1,5	15	80	80	50	2,0	40	30	4	1000	60	10	100
42	N-42	20	1500	1,0	30	80	80	50	3,0	50	80	6	800	60	10	300

Продолжение таблицы А

№ п/п	Шифр пробы	As	Ba	Bi	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	W	Zn
43	N-43	20	600	1,5	20	80	50	50	2,0	50	60	5	800	60	10	150
44	N-44	20	800	1,0	20	80	50	50	2,0	50	30	4	1000	60	4	100
45	N-45	100	1000	3,0	20	100	200	40	2,0	40	100	5	1000	60	5	2000
46	N-46	30	600	1,5	20	60	60	60	2,0	60	40	5	800	80	5	100
47	N-47	20	1000	1,0	30	60	60	60	2,0	50	60	5	1000	60	6	150
48	N-48	20	500	1,5	20	60	50	60	2,0	50	20	4	800	80	5	100
49	N-49	20	1000	1,5	30	80	60	60	2,0	60	100	5	600	80	20	200
50	N-50	20	800	1,5	20	60	60	60	2,0	50	30	6	800	80	5	100
51	N-51	20	600	2,0	30	80	80	50	3,0	60	50	6	600	80	30	300
52	N-52	20	1000	1,5	15	80	60	50	2,0	40	40	4	1000	60	5	100
53	N-53	20	600	1,0	20	60	50	60	2,0	50	60	4	800	80	3	200
54	N-54	10	600	2,0	10	50	60	40	1,0	30	30	5	500	50	1	150
55	N-55	10	500	1,0	10	50	80	40	0,6	30	20	3	600	50	1	60
56	N-56	10	500	0,8	15	80	80	40	1,0	40	20	3	800	50	1	80
57	N-57	20	500	1,0	15	80	150	40	1,0	40	20	3	800	60	1	100
58	N-58	10	1000	0,8	10	100	50	50	1,0	30	30	4	1000	60	1	100
59	N-59	10	1000	0,8	15	100	50	50	1,0	30	30	4	1000	60	1	100
60	N-60	20	600	1,0	20	80	60	50	1,0	40	30	5	1000	80	2	100
61	N-61	20	500	1,0	20	80	80	50	3,0	40	40	4	1000	80	1	150
62	N-62	20	300	1,0	20	80	150	50	2,0	50	30	4	1000	80	1	100
63	N-63	20	800	1,0	20	80	80	50	1,5	40	80	6	800	80	1	300
64	N-64	10	600	0,8	20	100	60	50	2,0	40	80	4	1000	80	2	200
65	N-65	20	1000	1,0	20	100	100	40	5,0	50	300	20	800	100	2	500

Приложение Б

Физико-химические свойства поверхностных горизонтов почв Новороссийской промышленной агломерации и характеристики обследованной территорий

№ п/п	Шифр пробы	pH	Содержание MnO, %	Z _c ¹	ИПЗ ²	Гранулометрический состав ³	Ил (< 0,001 мм), %	Физ. глина (0,001 – 0,01 мм), %	Физ. песок (> 0,01 мм), %	Функциональная зона ⁴
1	N-01	7,9	0,15	8,5	26,1	1	0,0	11,5	88,5	1
2	N-02	8,5	0,15	3,6	16,7	3	2,1	33,9	63,9	3
3	N-03	8,4	0,10	7,5	22,7	2	0,3	23,4	76,3	2
4	N-04	8,7	0,08	2,9	11,6	3	2,5	36,5	61,0	2
5	N-05	8,3	0,10	3,6	16,7	3	1,7	34,1	64,2	1
6	N-06	8,7	0,60	4,2	15,0	2	0,6	26,6	72,7	2
7	N-07	8,9	0,10	8,0	31,8	1	0,0	11,1	88,9	1
8	N-08	8,5	0,10	20,2	49,3	1	0,0	10,4	89,6	1
9	N-09	8,8	0,15	4,6	16,5	1	0,0	15,5	84,5	1
10	N-10	8,6	0,10	7,0	25,7	3	0,7	34,6	64,7	2
11	N-11	8,4	0,15	4,9	21,0	2	0,0	25,2	74,8	2
12	N-12	8,6	0,08	12,5	31,3	3	2,4	31,6	66,0	2
13	N-13	8,6	0,10	2,9	13,8	2	2,2	28,6	69,3	1
14	N-14	8,7	0,08	2,9	13,5	2	2,1	28,0	69,9	2
15	N-15	8,5	0,10	3,3	13,8	2	0,4	21,7	77,8	1
16	N-16	8,9	0,10	10,2	31,4	2	0,8	28,5	70,6	2

Продолжение таблицы Б

№ п/п	Шифр пробы	pH	Содержание MnO, %	Z _c ¹	ИПЗ ²	Гранулометрический состав ³	Ил (< 0,001 мм), %	Физ. глина (0,001 – 0,01 мм), %	Физ. песок (> 0,01 мм), %	Функциональная зона ⁴
17	N-17	8,7	0,08	2,9	17,1	2	1,8	28,1	70,2	2
18	N-18	8,9	0,15	3,2	11,7	2	0,7	25,3	73,9	2
19	N-19	8,7	0,08	2,9	12,6	3	2,4	30,0	67,6	2
20	N-20	8,7	0,15	3,1	19,1	1	0,3	14,2	85,5	2
21	N-21	8,4	0,10	6,2	19,1	2	1,0	20,3	78,6	2
22	N-22	8,4	0,10	8,1	25,6	3	2,2	37,4	60,4	2
23	N-23	8,5	0,08	4,4	16,5	3	1,2	30,2	68,6	1
24	N-24	8,5	0,10	2,6	15,1	3	0,3	30,3	69,4	2
25	N-25	8,1	0,10	3,0	15,9	1	0,0	15,4	84,6	2
26	N-26	8,2	0,10	3,4	15,8	3	1,7	37,3	61,0	3
27	N-27	8,6	0,10	6,4	18,6	1	0,3	19,0	80,6	3
28	N-28	8,3	0,15	2,8	14,9	1	0,0	12,9	87,1	2
29	N-29	8,3	0,10	4,2	18,8	2	1,0	28,4	70,7	3
30	N-30	8,4	0,10	3,1	13,2	3	1,6	32,8	65,6	3
31	N-31	8,3	0,10	2,7	17,2	2	0,1	23,4	76,5	3
32	N-32	8,3	0,10	2,8	12,8	3	2,1	37,4	60,5	2
33	N-33	8,5	0,10	3,4	13,7	2	0,3	23,3	76,4	3

Продолжение таблицы Б

№ п/п	Шифр пробы	pH	Содержание MnO, %	Z _c ¹	ИПЗ ²	Гранулометрический состав ³	Ил (< 0,001 мм), %	Физ. глина (0,001 – 0,01 мм), %	Физ. песок (> 0,01 мм), %	Функциональная зона ⁴
34	N-34	8,4	0,15	18,9	53,2	1	0,0	13,0	87,0	2
35	N-35	8,7	0,10	4,8	17,2	2	1,5	27,8	70,6	2
36	N-36	8,0	0,15	5,7	19,7	1	0,2	18,3	81,6	2
37	N-37	8,0	0,10	1,8	13,8	2	0,3	29,9	69,8	2
38	N-38	8,6	0,15	3,2	14,5	3	2,3	39,0	58,7	2
39	N-39	8,2	0,10	6,1	25,1	1	0,0	15,6	84,4	3
40	N-40	8,3	0,10	2,5	16,7	3	0,5	35,9	63,6	3
41	N-41	8,2	0,10	3,6	19,6	1	0,0	12,9	87,1	3
42	N-42	8,3	0,15	6,7	22,3	1	0,0	10,1	89,9	2
43	N-43	8,6	0,15	3,0	18,6	2	0,6	28,0	71,4	3
44	N-44	8,9	0,15	2,9	12,2	2	1,1	27,7	71,2	2
45	N-45	8,2	0,10	22,3	55,7	2	0,0	22,7	77,3	3
46	N-46	8,5	0,15	2,8	15,6	1	0,0	10,9	89,1	4
47	N-47	8,8	0,10	4,4	16,6	2	0,1	23,7	76,2	4
48	N-48	8,8	0,10	2,5	13,2	3	1,6	34,0	64,3	3
49	N-49	8,2	0,10	4,9	25,9	2	0,1	27,5	72,4	3
50	N-50	8,3	0,10	2,7	14,7	3	1,4	30,7	67,9	2
51	N-51	8,3	0,10	4,8	31,6	1	0,0	15,6	84,4	2

Продолжение таблицы Б

№ п/п	Шифр пробы	pH	Содержание MnO, %	Z _c ¹	ИПЗ ²	Гранулометрический состав ³	Ил (< 0,001 мм), %	Физ. глина (0,001 – 0,01 мм), %	Физ. песок (> 0,01 мм), %	Функциональная зона ⁴
52	N-52	8,5	0,15	3,2	16,6	3	2,4	30,9	66,7	3
53	N-53	8,1	0,15	3,6	13,1	2	1,0	22,1	76,9	4
54	N-54	8,4	0,10	1,7	11,2	2	0,4	22,6	77,0	4
55	N-55	8,6	0,10	2,1	6,6	3	2,2	31,7	66,1	4
56	N-56	9,4	0,15	2,7	6,5	3	2,4	32,7	64,9	4
57	N-57	8,7	0,10	3,9	10,1	3	1,9	42,5	55,6	4
58	N-58	8,6	0,10	3,2	7,7	1	0,0	17,6	82,4	4
59	N-59	8,6	0,10	3,2	7,7	1	0,0	13,2	86,8	4
60	N-60	8,8	0,10	2,9	10,5	3	2,9	41,6	55,5	4
61	N-61	8,8	0,15	3,7	13,3	3	2,0	36,3	61,7	4
62	N-62	8,5	0,15	4,5	12,8	3	2,7	40,0	57,3	4
63	N-63	8,7	0,10	5,3	15,2	3	3,1	39,8	57,0	4
64	N-64	8,2	0,10	4,5	12,1	2	0,9	29,2	69,9	4
65	N-65	8,1	0,10	16,4	36,2	1	0,0	11,0	89,0	4

Примечания:

1. Z_c – суммарный показатель загрязнения.
2. ИПЗ – интегральный показатель загрязнения.
3. Гранулометрический состав: 1 – супесь; 2 – легкий суглинок; 3 – средний суглинок.
4. Функциональная зона: 1 – промышленные территории; 2 – селитебная зона, малоэтажная застройка; 3 – селитебная зона, многоэтажная застройка; 4 – пустыри и виноградники.

Приложение В

Концентрации (мг/м³) фракций взвешенных частиц диаметром от 1 до 10 мкм на высоте 1,5 м в атмосферном воздухе Новороссийской промышленной агломерации

№ п/п	№ пробы	PM1* средн.	PM1 мин.	PM1 макс.	PM2.5 средн.	PM2.5 мин.	PM2.5 макс.	PM4 средн.	PM4 мин.	PM4 макс.	PM10 средн.	PM10 мин.	PM10 макс.
1	ND-01-003	0,188	0,079	0,562	0,192	0,082	0,566	0,196	0,086	0,570	0,217	0,105	0,590
2	ND-01-004	0,205	0,080	0,951	0,209	0,083	0,955	0,213	0,086	0,959	0,235	0,107	0,980
3	ND-01-005	0,121	0,085	0,160	0,128	0,089	0,170	0,137	0,094	0,184	0,195	0,118	0,269
4	ND-01-006	0,087	0,061	0,118	0,091	0,063	0,121	0,095	0,066	0,124	0,118	0,077	0,196
5	ND-01-007	0,054	0,041	0,069	0,057	0,043	0,071	0,060	0,045	0,074	0,076	0,053	0,103
6	ND-01-008	0,065	0,036	0,126	0,068	0,038	0,134	0,076	0,041	0,152	0,130	0,050	0,299
7	ND-01-009	0,061	0,050	0,078	0,064	0,053	0,081	0,068	0,056	0,085	0,085	0,070	0,106
8	ND-01-010	0,098	0,070	0,289	0,101	0,073	0,292	0,106	0,077	0,297	0,131	0,098	0,324
9	ND-01-011	0,069	0,052	0,097	0,072	0,054	0,100	0,075	0,056	0,104	0,088	0,064	0,119
10	ND-01-012	0,039	0,034	0,062	0,042	0,036	0,066	0,044	0,038	0,071	0,057	0,045	0,100
11	ND-01-013	0,055	0,048	0,073	0,057	0,051	0,076	0,060	0,053	0,080	0,074	0,062	0,102
12	ND-01-014	0,062	0,052	0,081	0,065	0,054	0,084	0,068	0,056	0,091	0,089	0,063	0,130
13	ND-01-015	0,059	0,045	0,148	0,061	0,048	0,150	0,064	0,050	0,153	0,077	0,058	0,164
14	ND-01-016	0,058	0,033	0,123	0,060	0,035	0,125	0,062	0,037	0,127	0,071	0,042	0,135
15	ND-01-017	0,096	0,066	0,124	0,101	0,069	0,131	0,108	0,074	0,140	0,143	0,092	0,191
16	ND-01-018	0,050	0,046	0,053	0,052	0,048	0,056	0,055	0,051	0,059	0,069	0,063	0,074
17	ND-01-019	0,149	0,058	0,567	0,153	0,061	0,573	0,157	0,064	0,581	0,181	0,080	0,620
18	ND-01-020	0,061	0,051	0,083	0,064	0,053	0,086	0,068	0,056	0,090	0,083	0,067	0,105

Продолжение таблицы В

№ п/п	№ пробы	PM1* средн.	PM1 мин.	PM1 макс.	PM2.5 средн.	PM2.5 мин.	PM2.5 макс.	PM4 средн.	PM4 мин.	PM4 макс.	PM10 средн.	PM10 мин.	PM10 макс.
19	ND-01-021	0,059	0,041	0,132	0,061	0,043	0,135	0,064	0,045	0,138	0,076	0,055	0,150
20	ND-01-022	0,039	0,035	0,051	0,041	0,036	0,053	0,042	0,038	0,055	0,047	0,039	0,062
21	ND-01-023	0,031	0,026	0,045	0,033	0,028	0,047	0,035	0,029	0,051	0,044	0,033	0,075
22	ND-01-024	0,038	0,034	0,046	0,040	0,036	0,048	0,043	0,038	0,051	0,057	0,049	0,071
23	ND-01-025	0,051	0,040	0,103	0,054	0,042	0,106	0,056	0,044	0,108	0,071	0,052	0,123
24	ND-01-026	0,053	0,045	0,063	0,055	0,047	0,065	0,058	0,050	0,069	0,074	0,062	0,094
25	ND-01-027	0,069	0,051	0,100	0,073	0,054	0,104	0,078	0,057	0,111	0,112	0,068	0,176
26	ND-01-028	0,054	0,045	0,062	0,057	0,047	0,065	0,060	0,050	0,069	0,077	0,061	0,096
27	ND-01-029	0,120	0,048	0,367	0,127	0,051	0,385	0,138	0,053	0,424	0,221	0,065	0,724
28	ND-01-030	0,104	0,026	0,409	0,107	0,028	0,419	0,116	0,030	0,446	0,205	0,035	0,800
29	ND-01-031	0,043	0,023	0,119	0,045	0,025	0,123	0,048	0,026	0,131	0,065	0,030	0,225
30	ND-01-032	0,038	0,024	0,120	0,040	0,025	0,126	0,043	0,027	0,137	0,058	0,032	0,205
31	ND-01-033	0,058	0,025	0,189	0,061	0,027	0,196	0,065	0,029	0,210	0,104	0,037	0,366
32	ND-01-034	0,042	0,022	0,104	0,043	0,024	0,106	0,046	0,025	0,108	0,053	0,033	0,117
33	ND-01-035	0,023	0,022	0,024	0,024	0,023	0,026	0,026	0,025	0,028	0,032	0,031	0,034
34	ND-01-036	0,026	0,022	0,035	0,027	0,023	0,037	0,030	0,025	0,040	0,042	0,031	0,064
35	ND-01-037	0,029	0,024	0,036	0,032	0,026	0,038	0,034	0,029	0,042	0,046	0,037	0,059
36	ND-01-038	0,069	0,053	0,146	0,071	0,054	0,149	0,074	0,057	0,152	0,088	0,066	0,184
37	ND-01-039	0,111	0,059	0,195	0,122	0,066	0,213	0,139	0,074	0,240	0,226	0,110	0,381
38	ND-01-040	0,046	0,036	0,081	0,049	0,039	0,084	0,052	0,041	0,088	0,070	0,053	0,110

Продолжение таблицы В

№ п/п	№ пробы	PM1* средн.	PM1 мин.	PM1 макс.	PM2.5 средн.	PM2.5 мин.	PM2.5 макс.	PM4 средн.	PM4 мин.	PM4 макс.	PM10 средн.	PM10 мин.	PM10 макс.
39	ND-01-041	0,039	0,036	0,045	0,041	0,038	0,047	0,044	0,040	0,050	0,056	0,048	0,063
40	ND-01-042	0,033	0,028	0,043	0,035	0,029	0,045	0,037	0,031	0,049	0,050	0,041	0,071
41	ND-01-043	0,049	0,039	0,088	0,052	0,042	0,093	0,057	0,046	0,101	0,084	0,064	0,165
42	ND-01-044	0,049	0,033	0,112	0,052	0,035	0,116	0,056	0,038	0,124	0,083	0,052	0,181
43	ND-01-045	0,104	0,044	0,210	0,109	0,047	0,221	0,120	0,051	0,247	0,208	0,070	0,470
44	ND-01-046	0,083	0,057	0,108	0,086	0,060	0,111	0,090	0,065	0,116	0,117	0,093	0,151
45	ND-01-047	0,038	0,031	0,077	0,039	0,033	0,080	0,042	0,034	0,087	0,057	0,041	0,153
46	ND-01-048	0,069	0,033	0,322	0,073	0,035	0,335	0,078	0,037	0,368	0,121	0,044	0,667

* Примечание: PM1, PM2.5, PM4, PM10 – фракции взвешенных частиц диаметрами 1,0, 2,5, 4,0 и 10 мкм, соответственно.

Приложение Г

Содержания химических элементов в образцах цемента, мергеля и цементной пыли, мг/кг

№ п/п	Шифр пробы	As	Ba	Bi	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	W	Zn	Описание
1	Ц-1	50	150	1.5	10	80	100	50	2	20	100	3	10	30	10	200	Сульфатостойкий портландцемент с пуццоланой (ЦЕМ II/A-П 32,5Б СО)
2	Ц-2	50	100	2	15	60	80	40	2	20	60	3	10	30	10	150	Сульфатостойкий портландцемент с пуццоланой (ЦЕМ II/A-П 42,5Н СС)
3	Ц-3	40	150	1.5	10	60	100	40	2	30	80	4	10	30	6	200	Портландцемент без минеральных добавок (500 / ПЦ-500ДО)
4	Ц-4	20	100	1	10	80	80	40	2	20	60	3	5	20	5	200	Сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками марки 500 (СС ПЦ М500-Д20)
5	Ц-5	10	100	1	20	150	50	60	3	50	20	6	10	150	30	100	Портландцемент с минеральными добавками быстротвердеющий (500-Д20-Б)
6	Ц-6	20	300	1	10	100	50	50	2	30	20	3	10	50	4	80	Мергель, горизонт «низкий»
7	Ц-7	10	500	0.8	6	30	20	40	1	15	15	2	5	20	2	80	Мергель, горизонт «высокий»
8	Ц-8	10	500	0.8	6	30	20	30	1	15	20	2	5	20	2	50	Мергель, горизонт «натурал»
9	Ц-9	40	100	10	6	60	40	40	2	10	200	2	5	20	6	100	Осредненная проба пыли из дымовой трубы цементного завода

Приложение Д

Физико-химические свойства горизонтов почвенных разрезов в Новороссийской промышленной агломерации

№ п/п	№ раз-реза	Шифр пробы	Горизонт	Глубина отбора	pH	Содержание C _{орг} , %	Содержание MnO, %	Гранулометрический состав *	Ил (< 0,001 мм), %	Физ. глина (0,001 – 0,01 мм), %	Физ. песок (> 0,01 мм), %
1	1	NP-01	T1 _{Ca}	0-10	8,6	1,85	0,10	1	85,1	14,9	0,0
2		NP-02	T2 _{Ca}	10-20	9,0	0,82	0,08	1	84,0	16,0	0,0
3		NP-03	T3 _{Ca}	20-36	9,2	0,64	0,08	3	68,3	30,1	1,6
4	2	NP-04	T1 _{Ca}	0-10	8,9	1,27	0,10	3	65,6	32,3	2,0
5		NP-05	T2 _{Ca}	10-20	8,9	1,30	0,10	2	78,3	21,1	0,6
6	3	NP-06	T1 _{Ca}	0-20	8,7	1,06	0,10	1	82,9	17,1	0,0
7	4	NP-07	T1 _{Ca}	0-20	8,7	0,35	0,15	3	67,2	32,1	0,7
8	5	NP-08	T1 _{Ca}	0-20	8,7	1,25	0,15	2	75,7	24,1	0,2
9	6	NP-11	A0 _{Ca}	0-5	8,9	3,61	0,10	1	91,1	8,9	0,0
10		NP-09	A1 _{Ca}	5-10	9,0	4,40	0,10	1	79,0	20,9	0,1
11		NP-10	A1 _{Ca}	10-15	9,1	3,19	0,10	2	83,9	16,1	0,0
12		NP-16	A1 _{Ca}	15-20	9,0	2,92	0,15	2	78,1	21,8	0,1
13		NP-12	B _{Ca}	20-30	9,0	2,01	0,15	2	86,2	13,7	0,1
14		NP-13	C _{Ca}	30-45	9,2	0,22	0,15	1	60,1	36,9	2,9
15		NP-14	C _{Ca}	45-60	9,2	0,17	0,10	3	56,8	40,1	3,1
16		NP-15	D _{Ca}	60-75	8,9	0,29	0,10	3	71,8	26,6	1,6
17	7	NP-17	A1 _{Ca}	10-35	8,8	3,18	0,15	2	71,3	28,4	0,3

* Примечание: гранулометрический состав: 1 – супесь; 2 – легкий суглинок; 3 – средний суглинок.

Приложение Е

Содержания химических элементов (мг/кг) в горизонтах почвенных разрезов в Новороссийской промышленной агломерации

№ п/п	№ раз-реза	Шифр пробы	Гори-зонт	Глубина отбора	As	Ba	Bi	Co	Cr	Cu	Li	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	V	W	Zn
1	1	NP-01	T1 _{Ca}	0-10	30	600	3,0	20	100	100	60	2,0	50	80	5	600	100	2	500
2		NP-02	T2 _{Ca}	10-20	30	300	2,0	20	100	80	60	2,0	50	40	5	400	100	2	300
3		NP-03	T3 _{Ca}	20-36	20	300	1,5	20	100	60	60	2,0	50	30	5	400	150	2	200
4	2	NP-04	T1 _{Ca}	0-10	30	800	3,0	30	100	80	60	2,0	50	100	5	800	80	2	300
5		NP-05	T2 _{Ca}	10-20	30	800	2,0	50	100	80	60	2,0	60	50	4	800	80	2	150
6	3	NP-06	T1 _{Ca}	0-20	20	1500	3,0	60	150	150	60	2,0	80	200	5	1000	100	3	300
7	4	NP-07	T1 _{Ca}	0-20	20	1000	2,0	30	100	100	50	2,0	50	100	6	1000	60	2	200
8	5	NP-08	T1 _{Ca}	0-20	10	1000	3,0	20	100	80	40	2,0	40	150	4	1000	50	2	300
9	6	NP-11	A0 _{Ca}	0-5	20	600	1,0	20	100	60	50	2,0	50	40	6	1000	80	2	300
10		NP-09	A1 _{Ca}	5-10	20	600	1,0	20	100	50	60	2,0	50	50	6	1000	80	2	200
11		NP-10	A1 _{Ca}	10-15	20	600	1,0	20	100	60	50	2,0	50	80	6	1000	80	2	200
12		NP-16	A1 _{Ca}	15-20	20	300	1,0	15	100	60	50	2,0	50	50	4	600	80	2	200
13		NP-12	B _{Ca}	20-30	20	600	0,8	15	100	50	50	2,0	50	30	6	1000	80	2	150
14		NP-13	C _{Ca}	30-45	20	600	0,8	10	80	30	40	1,0	30	15	3	1000	50	2	80
15		NP-14	C _{Ca}	45-60	10	600	0,6	10	80	30	40	1,0	30	15	2	1000	30	1	80
16		NP-15	D _{Ca}	60-75	10	300	1,0	10	100	30	50	1,5	30	15	2	1000	50	2	60
17	7	NP-17	A1 _{Ca}	10-35	20	1000	1,0	30	300	300	40	3,0	100	300	10	1000	50	4	400

Приложение Ж

Содержания химических элементов в водорослях *Cystoseira Barbata*, осредненные данные по семи зонам акватории Цемесской бухты, мг/кг

Район	Ag	Ba	Co	Cr	Cu	Ga	Mn	Mo	Ni	Pb	Sn	Sr	Ti	V	Zn
Незастроенное побережье открытого моря к западу от Цемесской бухты	0,13	300,0	3,00	6,00	27,5	2,00	250	1,00	18,8	7,0	1,88	10000	350	4,00	30,0
Побережье открытого моря к западу от Цемесской бухты, пос. Мысхако	0,14	445,5	6,64	8,50	42,3	3,82	555	1,11	23,6	11,1	2,82	8909	577	8,50	52,3
Юго-западная оконечность бухты, пос. Алексино	0,24	337,5	9,13	9,00	48,8	3,25	600	1,06	31,3	17,8	3,00	7250	638	10,88	180,0
Суджукская коса, западное побережье Цемесской бухты	0,17	420,0	8,80	10,20	42,0	4,40	620	1,00	23,0	10,4	3,00	6400	680	9,40	70,0
Северная часть Цемесской бухты, центр города	0,13	384,0	5,52	8,08	52,8	4,20	536	1,34	20,8	18,8	2,64	6920	612	7,68	82,4
Восточное побережье Цемесской бухты, район цементного завода и отвалов	0,11	450,0	6,00	7,50	42,0	4,60	430	1,00	21,5	9,7	2,55	8700	640	6,20	48,0
Незастроенное побережье открытого моря к востоку от Цемесской бухты	0,13	409,1	8,45	6,91	44,5	4,45	673	1,00	25,0	11,1	3,00	8182	573	7,18	57,3