

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ В РАЙОНЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОЛИГОНА ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ И ПЛОЩАДКИ СКЛАДИРОВАНИЯ ОСАДКОВ СТОЧНЫХ ВОД (Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ)

ECOGEOCHEMICAL ASSESSMENT OF THE SOIL STATE IN THE AREA OF A SOLID DOMESTIC WASTE LANDFILL AND A SEWAGE SLUDGE STORAGE SITE (ST. PETERSBURG)

ПОДЛИПСКИЙ И.И.

Старший преподаватель кафедры экологической геологии геологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ), к. г.-м. н., г. Санкт-Петербург, primass@inbox.ru

PODLIPSKIY I.I.

Senior lecturer of the ecological geology department of the geology faculty of the St. Petersburg State University, PhD (candidate of science in Geology and Mineralogy), St. Petersburg, primass@inbox.ru

Ключевые слова:

твердые бытовые отходы; осадки сточных вод; тяжелые металлы; суммарный показатель загрязнения; коэффициент мультипликации.

Key words:

solid domestic waste; sewage sludge; heavy metals; cumulative pollution index; intensifier ratio.

Аннотация

Изучаемый техногенный комплекс состоит из полигона твердых бытовых отходов (ПТО-3 «Новосёлки») и площадки складирования осадков сточных вод (северной площадки ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»), расположенных близко друг к другу, в связи с чем имеются проблемы разграничения воздействий этих двух объектов на окружающую среду и установления конкретного источника геохимической аномалии в районе их расположения. Статья посвящена комплексной эколого-геохимической оценке воздействия данного техногенного комплекса на компоненты окружающей среды, а также оценке вклада каждого источника в общий уровень загрязнения.

Введение

Одной из важнейших для России экологических проблем является вопрос обращения с отходами потребления и производства. Главные цели в области управления отходами в настоящее время — устранение слабых звеньев в цепи удаления, переработки и захоронения мусора, предотвращение его несанкционированного размещения и стимулирование вторичного рынка отходов.

Вместе с тем до настоящего времени недостаточно разработанной остается проблема комплексного изучения мест складирования отходов как единых геоэкологических систем, включающих сами карты размещения отходов и прилегающие к ним территории [8]. Особую опасность для такой системы представляет высокая степень загрязненности большинства отходов (в том числе твердых бытовых отходов и осадков сточных вод) тяжелыми металлами [10, 11], вынос которых за пределы техногенного комплекса может привести к загрязнению поверхностных и подземных вод, грунтов, а также к угнетению растительности на прилегающих к полигонам территориях.

Изучаемый техногенный комплекс состоит из полигона твердых бытовых отходов ПТО-3 «Новосёлки» и площадки складирования осадков сточных вод (северной площадки ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»), которые в связи с их близким друг к другу расположением рационально рассматривать совместно. В таком случае возникает проблема разграничения их воздействий на окружающую среду и установления конкретного источника геохимической аномалии, существующей на рассматриваемой территории. Осадки, накопленные в иловых картах пло-

Abstract

The studied technogenic complex consists of a solid domestic waste landfill (PTO-3 "Novosyelki") and a sewage sludge storage site (the northern ground of the St. Petersburg water services state-run unitary enterprise) which are close to each other, in connection with that there are problems of distinction between influences of these two objects on the environment and determination of a specific source of a geochemical anomaly in the area of them. The paper is devoted to integrated ecological-geochemical assessment of influence of this technogenic complex on components of the environment, as well as to assessment of contribution of the each source to the overall level of pollution.

щадки складирования осадков сточных вод в течение ряда лет, представляют собой коллоидно-дисперсные предельно гидратированные органоминеральные системы, характеризующиеся высокой физико-химической активностью, что подтверждается их большой водоудерживающей способностью (влагосодержание илового осадка достигает 85–95%). Кроме того, хранящиеся на полигонах иловые осадки загрязнены песчаными и растительными включениями, а также мусором производственного и случайного происхождения.

Полигоны твердых бытовых отходов (ТБО) — это специальные сооружения, предназначенные для изоляции и обезвреживания промышленных отходов. Они должны гарантировать санитарно-эпидемиологическую безопасность населения. На эти полигоны принимаются отходы из жилых домов, общественных зданий и учреждений, предприятий торговли, общественного питания, уличный и садово-парковый смет, строительный мусор и некоторые виды твердых промышленных отходов 3–4 класса опасности.

Цель настоящего исследования — комплексная эколого-геохимическая оценка воздействия рассматриваемого техногенного комплекса, состоящего из полигона бытовых отходов и площадки складирования осадка сточных вод, на компоненты окружающей среды, а также оценка вклада каждого источника загрязнения в его общий уровень.

Характеристика участка исследований

Исследуемый участок расположен на территории лесного массива в северо-западной части Выборгского района Санкт-Петербурга. Он ограничен с запада Горским шоссе, с севера — территорией аэродрома «Левашово», с востока и юга — автомагистралью А-118 СПб КАД. Его неправильная форма связана с преобладающим направлением поверхностного и подземного стока. Общая площадь участка, исследуемого в рамках данной работы, составляет 4,2 км² (420 га).

Перед производством работ на местности были уточнены границы исследуемого участка, оценены возможности отбора литохимических проб, предварительно рассмотрены ландшафтная обстановка и особенности почвенно-флористических условий.

Участок исследования располагается на границе Приневской низины, природа которой сильно изменена хозяйственной деятельностью. Элементами техногенного ландшафта являются насыпи и выемки вдоль автомобильных дорог, а также их инфраструктура — автопроезды, водопропускные сооружения, межевые канавы, просеки.

На рассматриваемой территории распространены дерновые заболоченные и дерново-подзолистые почвы. Отрицательные формы рельефа обычно заняты болотными почвами. В понижениях рельефа часто происходит застаивание поверхностных вод, приводящее к заболачиванию и образованию сплошного мохового покрова.

Территория исследования сложена в основном песками средней крупности, слоистыми и ленточными супесями, а также современными биогенными отложениями — торфами [4].

Методика исследований

Для проведения эколого-геологической оценки были использованы как собственные данные автора, так и результаты инженерно-экологических изысканий, выполненных в 1994–2012 гг. компаниями Санкт-Петербурга (ООО «РГЭЦ», ООО «ТехноТерра» и др.).

Отбор поверхностных проб грунтов проводился в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.4.02-84 [5]. Для исключения случайных ошибок пробоотбор проводился методом «конверта» с площадок размером 1×1 м. Материал проб тщательно перемешивался и квартовался до получения навесок по 700–1000 г. Общее количество проб составило более 170 штук. Они были отобраны за три отдельных периода: 2009 г. (12 шт., ООО «ТехноТерра»); 2012 г. (110 шт., Российский геоэкологический центр); 2014 г. (40 шт., И.И. Подлипский) (рис. 1). Также было взято 10 проб из трех почвенных прикопок на наиболее представительных участках.

Пробы грунтов после подготовки анализировались в аккредитованных лабораториях Санкт-Петербурга и

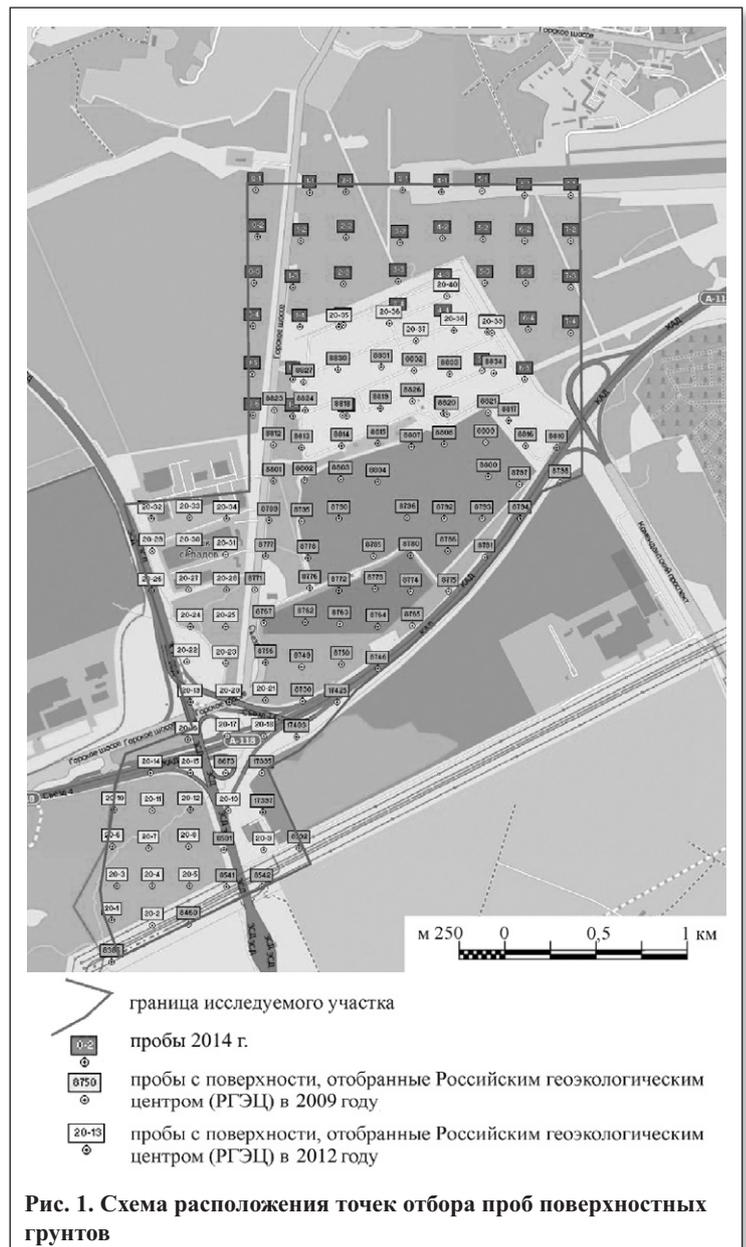


Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб поверхностных грунтов

Ленинградской области, а также на базе кафедры экологической геологии Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ). Измерение массовой доли элементов (As, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Cr, V, Mn, Sr) в подготовленных порошковых пробах проводилось рентгенофлуоресцентным методом на анализаторе «Спектроскан МАКС-GV» производства НПО «СПЕКТРОН».

С целью экологической оценки состояния грунтов на территории исследования был использован стандартный подход, заключающийся в сопоставлении результатов анализа с фоновыми уровнями и расчете суммарного показателя загрязнения Z_c (показателя Саета).

Для получения данных о региональных фоновых уровнях загрязнения почв была отобрана серия проб вне сферы локального антропогенного воздействия. Результаты их расчета примерно совпадали с нормативно установленными Комитетом по природным ресурсам и охране окружающей среды Ленинградской области (табл. 1).

Для оценки степени загрязнения грунтов был рассчитан коэффициент концентрации K_c , представляющий собой отношение концентрации элемента в исследуемом объекте C_i к его средней фоновой концентрации C_ϕ :

$$K_c = \frac{C_i}{C_\phi} \quad (1)$$

Суммарный показатель загрязнения Z_c характеризует степень химического загрязнения грунтов исследуемой территории группой химических элементов различных классов опасности [12]:

$$Z_c = \sum_{i=1}^{i=n} K_{c,i} - (n-1) \quad (2)$$

где $K_{c,i}$ — коэффициент концентрации i -го элемента (в расчет принимаются значения, превышающие единицу); n — количество элементов, используемых в расчете.

Таблица 1

Фоновые концентрации химических элементов в почвах Ленинградской области		
Элемент	Класс опасности	Содержание, мг/кг
As	1	2,6
Pb	1	19,1
Zn	1	43,1
Co	2	4,1
Ni	2	15,3
Cu	2	18,0
Cr	2	12,5
V	3	16,2
Mn	3	117,7
Sr	3	111,0

По суммарному показателю Z_c степень загрязнения компонента природной среды оценивается по четырехбалльной шкале:

- допустимая ($Z_c < 16$);
- умеренно опасная ($Z_c = 16 \div 32$);
- опасная ($Z_c = 32 \div 128$);
- чрезвычайно опасная ($Z_c > 128$).

Статистическая обработка данных проводилась с использованием корреляционного и факторного анализа. Последний выполнялся на основе корреляционной матрицы методом главных компонент с последующим варимакс-вращением. Критическое значение уровня значимости принималось равным 5%. В результате проведенного факторного анализа был установлен состав парагенетических техногенных геохимических ассоциаций элементов [7], характерных для каждого типа воздействия, то есть был составлен геохимический «портрет» каждого объекта (иловых карт и полигона ТБО) без учета фоновых природных флуктуаций.

На последнем этапе проводилась обработка геохимических данных с целью повышения показателя контрастности литогеохимических аномалий, характерных для каждого типа техногенных объектов, путем применения метода мультипликации [13].

Поскольку техногенные литогеохимические аномалии неизменно являются комплексными, увеличение их контрастности достигается путем перемножения (мультипликации) концентраций всех элементов (количество которых равно m), входящих в состав геохимических парагенетических ассоциаций, выделенных в процессе факторного анализа. В слабых аномалиях превышения концентраций отдельных элементов и веществ относительно их фона соизмеримы между собой, поэтому амплитуда мультипликативной аномалии возрастает примерно в m раз. Одновременно стандартное отклонение мультипликативного фона согласно теореме о сложении дисперсий [1] увеличивается только в \sqrt{m} раз. В действительности усиление аномалии несколько меньше в силу сложной корреляционной зависимости между концентрациями элементов и веществ, а также наличия радиуса автокорреляции, соизмеримого с шагом пробоотбора.

После обработки полученных значений коэффициентов мультипликации по правилу «трех сигм» («3σ») строились диаграммы их распределения с выделением следующих диапазонов перцентилей¹ (квартильных промежутков):

- 1) 0–25;
- 2) 25–50;
- 3) 50–75;
- 4) 75–100.

Было проведено картирование поверхностных мультипликативных аномалий выделенных техногенных геохимических ассоциаций. То есть для всей исследованной территории были отображены коэффициенты мультипликации геохимических ассоциаций полигона ТБО и иловых карт. В результате было построено по четыре схемы горизонтального распре-

¹ n -й перцентиль — такая величина параметра, ниже которой расположено n процентов его наблюдаемых значений.

Использование квартильных промежутков для обработки данных получило широкое распространение в биогеохимии и экологии [8].

ления мультипликативного показателя для каждого из двух выделенных объектов с целью установления вкладов конкретных источников в образование лито-геохимической аномалии.

Расчеты производились с помощью пакетов программ Statistica 6.0 и Microsoft Office Excel. Создание графического материала производилось в программах CorelDraw 12, Adobe Photoshop 8.0, OziExplorer 3.70, Surfer 9.0 и др.

Результаты исследований

По результатам расчетов коэффициентов концентрации K_c химических элементов была получена таблица их статистических характеристик для всей выборки (табл. 2).

В связи с большим размахом вариаций практически для всех элементов, кроме V и Sr, в качестве наиболее достоверной усредненной характеристики выборки для каждого элемента были использованы медианы. Медианные значения могут быть расположены по возрастанию в следующем ряду: As < Zn < Sr < Cu < Ni < V < Pb < Co < Mn < Cr.

Для изучения изменений строения и степени загрязнения грунтов с глубиной на основании анализа аэрокосмических материалов были заложены и пройдены 3 прикопки глубиной до 1 м, из которых были отобраны пробы грунта — по одной на каждый почвенный горизонт (табл. 3). Пробы были проанализированы рентгенофлуоресцентным методом на анализаторе «Спектроскан МАКС-GV» (на содержание Ni, Pb, Cu, Zn, Mn, Fe). По полученным данным были построены графики вертикального распределения значений коэффициентов концентрации химических элементов (рис. 2).

Прикопка № 1 (рис. 2, а) расположена на расстоянии около 400 м от северной границы карт складирования илового осадка в лесном массиве. Древесная растительность представлена мелколиственными породами (ольхой, осинкой, березой) с единичным присутствием

хвойных (ели). Кустарниковый ярус представлен лещиной, бузиной и подростом рябины и березы. Травянистый покров разреженный, представлен кустарничками (черникой, брусникой, подбелом и др.) и тенелюбивыми злаками.

По результатам анализа данных для прикопки № 1 можно выделить четыре группы элементов, концентрация которых:

- 1) практически не меняется с глубиной (Zn, Fe);
- 2) уменьшается с глубиной, что может свидетельствовать о воздушно-пылевом способе миграции и/или об органотропности данного элемента [3] (Pb);
- 3) увеличивается с глубиной (Mn, Cu);
- 4) увеличивается в разрезе на тех или иных геохимических барьерах (Ni).

Прикопка № 2 (рис. 2, б) расположена на расстоянии 450–500 м к юго-юго-западу от зоны складирования отходов под пологом темнохвойного елового леса практически без примесей листовых пород в первом ярусе. Травянистый и кустарниковый покров встречается только в местах ветровала (прогалины) и представлен традиционными видами растений, характерных для ельников-зеленомошников.

По результатам анализа данных для прикопки № 2 можно выделить две группы элементов, концентрация которых:

- 1) практически не меняется с глубиной (Ni, Fe, Mn);
- 2) уменьшается с глубиной (Pb, Cu, Zn).

Прикопка № 3 (рис. 2, в) расположена практически на северо-восточной границе участка исследований на расстоянии около 50 м от военного аэродрома. Были выделены группы элементов, концентрации которых:

- 1) практически не меняются с глубиной (Pb, Fe);
- 3) увеличиваются с глубиной (Cu, Mn);
- 4) увеличиваются в разрезе на геохимических барьерах (Zn, Ni).

По полученным значениям коэффициентов концентрации K_c были рассчитаны суммарные показатели загрязнения Z_c . Для наглядного отображения горизонтального распределения значений Z_c была построена

Таблица 2

Статистические характеристики коэффициентов концентрации химических элементов на исследуемой территории						
Элемент	1-й квартиль (25-й процентиль)	3-й квартиль (75-й процентиль)	Медиана (2-й квартиль, 50-й процентиль)	Минимум	Максимум	Стандартное отклонение
As	0,88	2,67	0,90	0,00	45,80	4,87
Pb	1,36	2,72	1,67	0,04	174,46	16,84
Zn	0,49	2,32	1,01	0,02	69,61	8,44
Co	1,22	2,44	1,72	0,20	73,17	6,18
Ni	0,99	1,96	1,40	0,07	32,68	3,57
Cu	0,56	2,22	1,11	0,08	111,11	12,73
Cr	2,20	5,37	3,67	0,40	1200,00	117,56
V	0,93	2,47	1,41	0,14	8,79	1,14
Mn	1,52	5,66	2,55	0,50	59,47	9,71
Sr	0,90	1,66	1,25	0,43	9,01	1,26

схема, представленная на рис. 3. На ней можно выделить две области повышенных значений суммарного показателя: первая непосредственно связана с территорией иловых карт и зоны складирования ТБО, вторая имеет разорванный ореол и состоит из трех отдельных участков небольшой площади, ориентированных и вытянутых с севера на юг. В итоге для комплексных аномалий, обнаруженных на прилегающих к полигону ТБО и зоне складирования территориях, по данным материалам трудно установить связь с конкретными источниками и степень вклада каждого из них.

Первым этапом обработки данных по составу проб грунтов является статистический анализ первичной информации, проведенный в программе Statistica 6.0 с использованием модуля «Описательная статистика» (Basic Statistics and Tables), позволяющего определить наличие ошибок и выбросов значений (как положительных, так и отрицательных) и оценить базовые статистические закономерности. Была отвергнута гипотеза о нормальном распределении концентраций химических элементов, выполнено логарифмическое преобразование переменных и подтверждено наличие логнормального распределения. С целью гомогенизации выборки была проведена операция по удалению выбросов с использованием правила «трех сигм («3σ»).

С целью визуализации статистических характеристик содержания элементов была построены диаграммы типа «ящик с усами», позволяющие более точно оценить характер распределения и выявить его особенности (рис. 4). Анализируя представленные на диаграммах данные с удаленными выбросами, можно установить довольно большой размах вариаций для содержания Pb, Zn, Cu, Cr, Mn (максимальная концентрация Mn составляет 3 000 мг/кг, Cr — 2 000 мг/кг). Большим разбросом отличается также содержание Sr: его максимальная концентрация составляет около 500 мг/кг при среднем содержании 100 мг/кг. Наличие на диаграммах относительно длинного нижнего «уса» (до минимального значения) мо-

жет быть связано с непостоянным поступлением в систему поллютанта и его высокой подвижностью (это характерно, например, для Ni и Sr).

Геохимические аномалии всегда являются комплексными, то есть повышенное содержание одного химического элемента часто сопровождается повышенными концентрациями других, близких ему по свойствам. Однако количественные соотношения между ними при этом могут быть самыми разными и зависеть как от свойств самих элементов, так и от условий среды. Но в любом случае можно говорить о силе этих корреляционных связей, которую оценивают количественно по коэффициенту линейной корреляции (корреляции Пирсона) с использованием следующей шкалы:

коэффициент корреляции <i>r</i>	корреляционная связь
>0,70 сильная
0,50–0,69 средняя
0,30–0,49 умеренная
0,20–0,29 слабая
<0,19 очень слабая

Анализ полей корреляции показывает, что зависимость между переменными для поверхностных грунтов (Cu-Pb — $r=0,8$; Cu-Zn — $r=0,6$; Zn-Pb — $r=0,7$; Co-Pb — $r=0,5$; Ni-Zn — $r=0,7$; Ni-Co — $r=0,5$; Cr-Co — $r=0,6$) близка к линейной и выделение скрытых факторов методом главных компонент возможно (табл. 4).

Для выделения ассоциаций химических элементов могут быть использованы методы многомерного статистического анализа, в частности факторный анализ, основное назначение которого в настоящей работе — описание состава и степени взаимосвязи (конкордантности) элементов в ассоциациях. Данный метод состоит в поиске ортогональных факторов — линейных комбинаций наблюдаемых переменных, объясняющих всю их изменчивость [6].

Для повышения точности выделения и оценки степени генетической взаимосвязи анализируемых хими-

Таблица 3

Характеристики разрезов		
№ разреза (прикопки)	Глубина (от кровли до подошвы), см	Грунт (горизонт)
1	0–22	Органогенный, средней степени разложения
	22–26	Суглинок, с явной оподзоленностью
	26–53	Супесчаный, палево-желтый
2	0–10	Органогенный, слабо разложившийся
	15–21	Органогенный, средней степени разложения
	21–54	Супесчаный, с частичками органического вещества, коричневого и палево-серый
3	0–15	Органогенный, средней степени разложения
	15–26	Песчаный, палево-бурый
	26–36	Песчаный, бурого оттенка
	36–58	Песчаный, желтого оттенка

ческих элементов все пробы были разделены на три группы:

- 1) грунты с территорий, прилегающих к площадке складирования осадков сточных вод и к полигону ТБО (129 шт.);
- 2) свалочные техногенные грунты (15 шт.);
- 3) иловые осадки сточных вод (18 шт.).

Для отбора значимых факторов изменения концентраций элементов и их ассоциаций использовался графический метод с использованием «критерия каменистой осыпи», при котором количество факторов соответствует рез-

кому изменению градиента собственных значений (увеличению угла падения графика более чем в полтора раза) того или иного фактора в зависимости от его номера [6].

В результате проведенного факторного анализа был установлен состав парагенетических техногенных геохимических ассоциаций элементов для каждой из трех выборок, в каждой из которых было выделено по два значимых фактора, имеющих высокие абсолютные значения, покрывающие более 60–70% общей дисперсии (рис. 5). Первый фактор контролирует распределение концентраций As, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Cr (см. рис. 5, а), что может быть связано с общим уровнем и направлением загрязнения староосвоенной территории с высоким уровнем техногенной нагрузки (о чем говорит наличие легко мигрирующего As). Второй фактор описывает природные процессы, в результате которых в грунтах наблюдается корреляция кон-

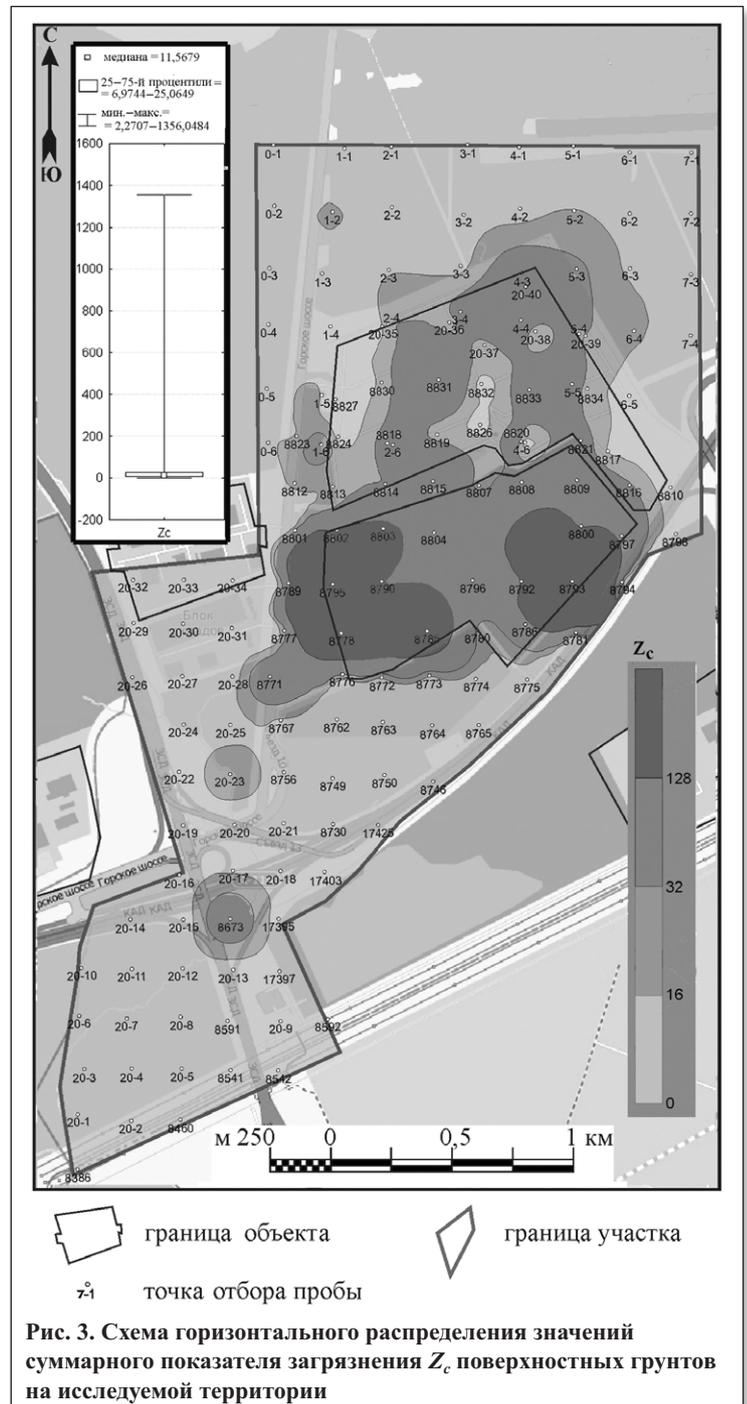
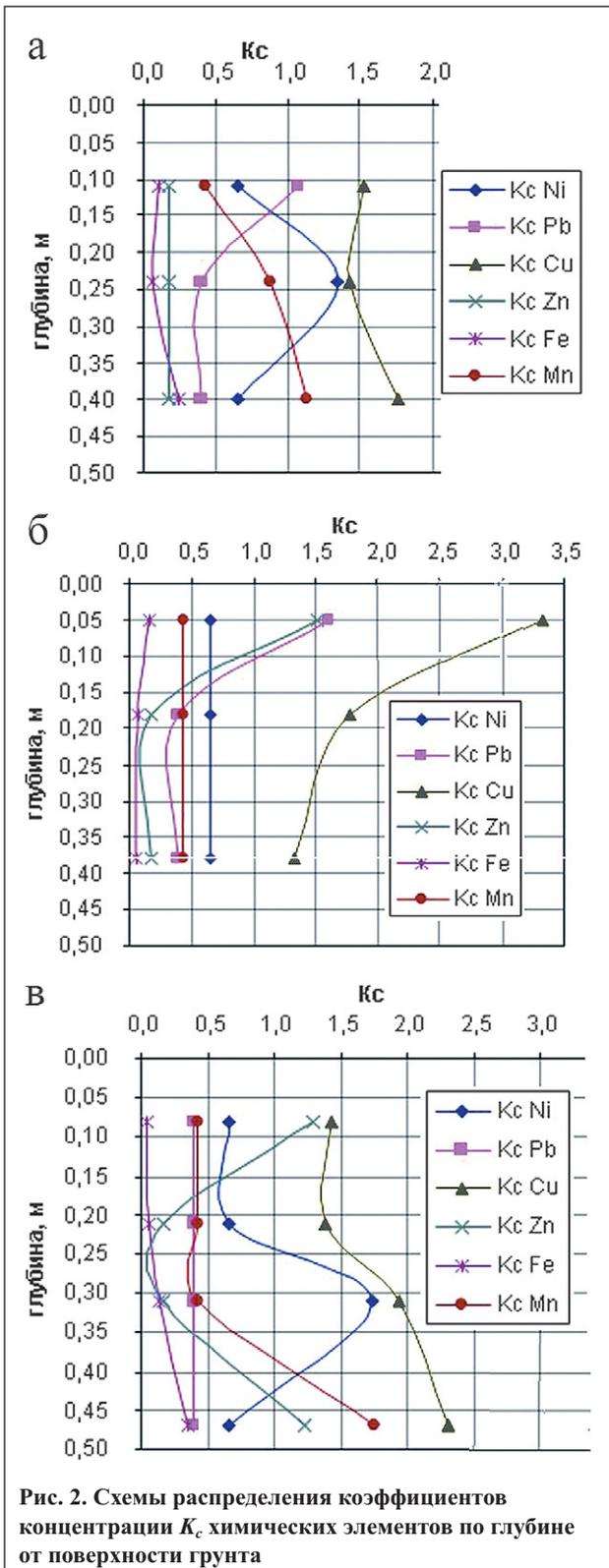


Таблица 4

Коэффициенты корреляции между концентрациями химических элементов в почвах изученного участка									
Элемент	Pb	Zn	Co	Ni	Cu	Cr	V	Mn	Sr
As	0,382	0,135	0,142	0,044	0,314	0,232	-0,174	0,201	0,426
Pb	-	0,682	0,506	0,493	0,786	0,552	-0,232	0,223	0,332
Zn	-	-	0,376	0,674	0,619	0,430	-0,009	0,192	0,208
Co	-	-	-	0,534	0,443	0,638	0,081	0,157	0,061
Ni	-	-	-	-	0,443	0,193	0,130	0,186	0,112
Cu	-	-	-	-	-	0,463	-0,116	0,224	0,289
Cr	-	-	-	-	-	-	-0,048	0,151	0,020
V	-	-	-	-	-	-	-	-0,025	-0,243
Mn	-	-	-	-	-	-	-	-	0,134

центраций Mn и Sr, что можно связать с накоплением неорганических солей марганцевой кислоты, в том числе перманганата стронция — $Sr(MnO_4)_2$.

Факторный анализ проб с территории полигона ТБО позволяет выделить две их группы (рис. 5, б), содержащие:

- 1) Zn, Cu, Cr, As — типичную ассоциацию свалочных грунтов полигонов ТБО, связанную с наиболее распространенными в отходах поллютантами [7];
- 2) Pb, Co, Ni, V — ассоциацию геохимически слабоподвижных элементов, которая отражает суммарную техногенную нагрузку на изучаемую территорию как в настоящее время, так и в прошлом.

По результатам факторного анализа выборки с территории расположения карт складирования активного

ила сточных вод можно выделить две группы (рис. 5, в), содержащие:

- 1) Pb, Ni, Cu, Cr — органофильные элементы, прочно адсорбирующиеся на поверхности частиц органического вещества и переносимые в результате ветровой эрозии на большие расстояния [2];
- 2) Zn, Co, Mn — вероятнее всего, результат смешения бытовых и промышленных сточных вод.

С целью установления наличия генетической геохимической связи между содержанием поллютантов на участке полигона ТБО/иловых карт и прилегающих территориях было проведено «усиление» аномалий выделенных параметров в результате проведенного факторного анализа. Для визуализации результатов такой оценки были построены схемы горизон-

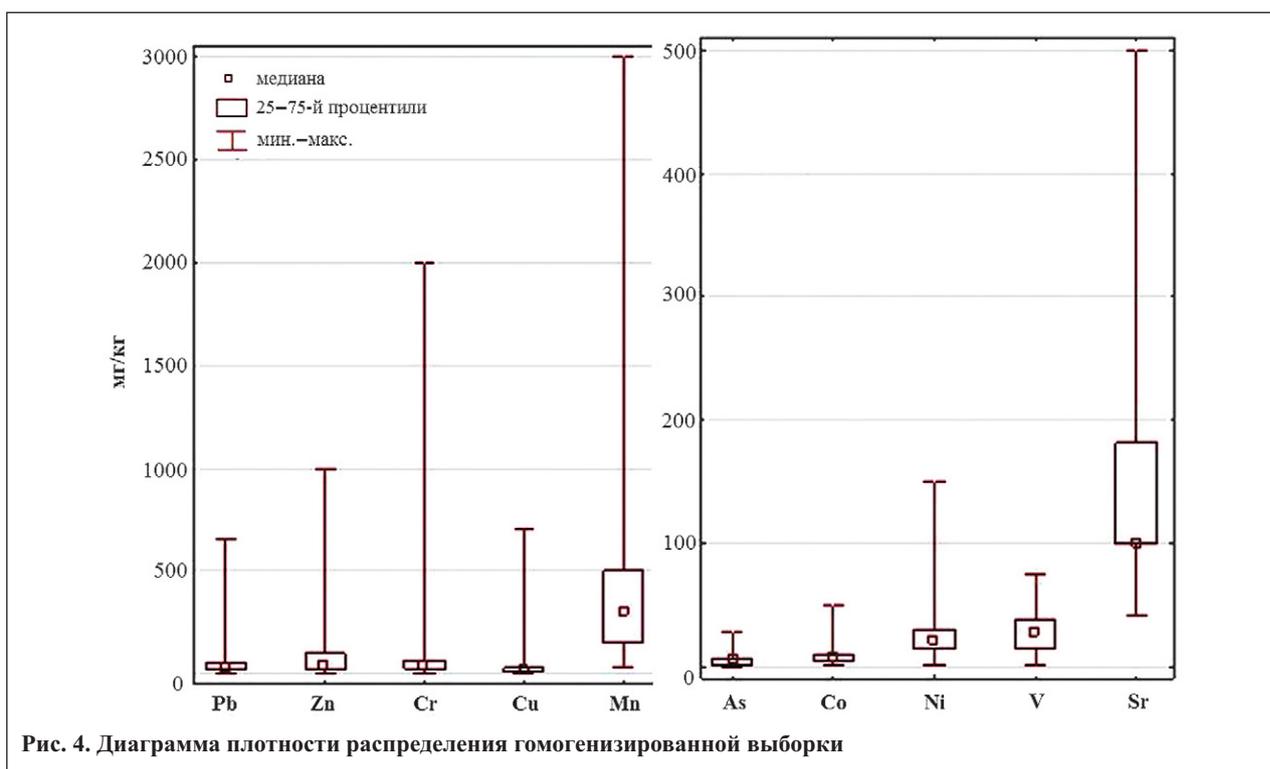


Рис. 4. Диаграмма плотности распределения гомогенизированной выборки

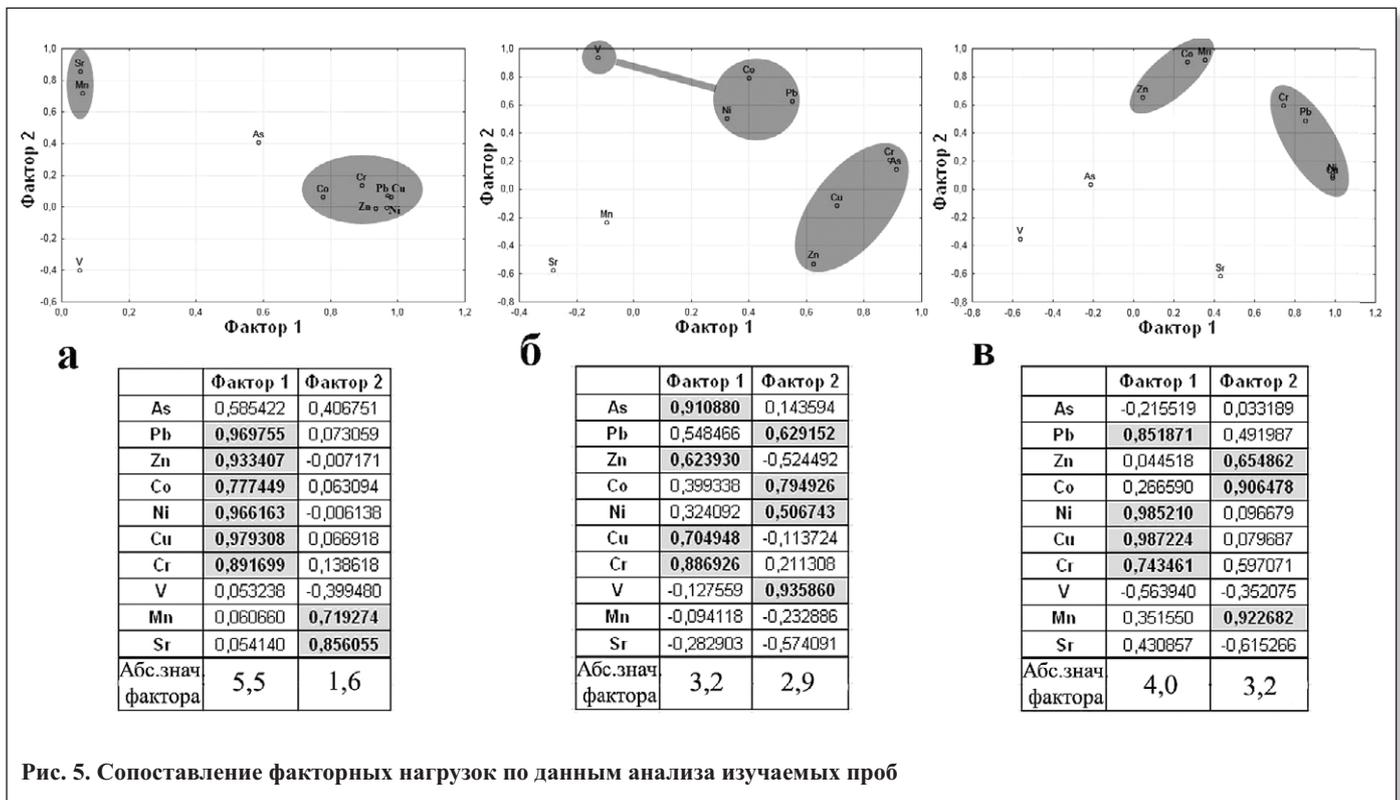


Рис. 5. Сопоставление факторных нагрузок по данным анализа изучаемых проб

тального распределения коэффициентов мультипликации в наиболее загрязненном поверхностном горизонте грунтов (рис. 6, 7).

Анализ площадных схем распределения коэффициентов мультипликации по прилегающим к рассматриваемым участкам территориям, рассчитанных по двум геохимическим ассоциациям для свалочных грунтов, показывает довольно однородную картину распространения поллютантов, что может быть связано с продолжительностью существования загрязняющих техногенных объектов и отсутствием (или прекращением выполнения необходимых функций) системы сооружений инженерной защиты (от миграции поллютантов с грунтовыми водами, от ветрового разноса и др.) (см. рис. 6).

Повышенные коэффициенты мультипликации по первой ассоциации элементов, выявленные на прилегающей к рассматриваемым техногенным объектам западной территории, могут свидетельствовать о преобладающем направлении миграции поллютантов с территории полигона ТБО, а также о необходимости проведения первоочередных рекультивационных и/или защитных мероприятий.

Обе геохимические ассоциации, выделенные на площадке складирования осадков сточных вод, в максимальной степени проявлены на территории карт складирования полигона ТБО, что является доказательством геохимического сходства этих двух объектов и определяет возможность их совместного рассмотрения при оценке степени загрязнения прилегающих к ним территорий в дальнейшем.

На рисунке 7 очень хорошо различима литогеохимическая аномалия в северной части прилегающих территорий. Состав ассоциации первого фактора (Pb, Ni, Cu, Cr) и преобладающие направления ветра в безморозный период свидетельствуют о вероятном аэрационном происхождении этой аномалии, причем ис-

точником ее могут быть как твердые бытовые отходы, так и осадки сточных вод. Это может быть окончательно подтверждено при дополнительных исследованиях по оценке интенсивности и качественного состава пылевой нагрузки.

По результатам анализа распределения коэффициента мультипликации геохимической ассоциации второго фактора можно сделать вывод о преобладающей миграции поллютантов в жидком (растворенном) виде на основании данных о составе ассоциации (Zn, Co, Mn), уклоне местности и направлении потока грунтовых вод. В связи с тем что территория расположения объекта исследований находится на водосборной пло-

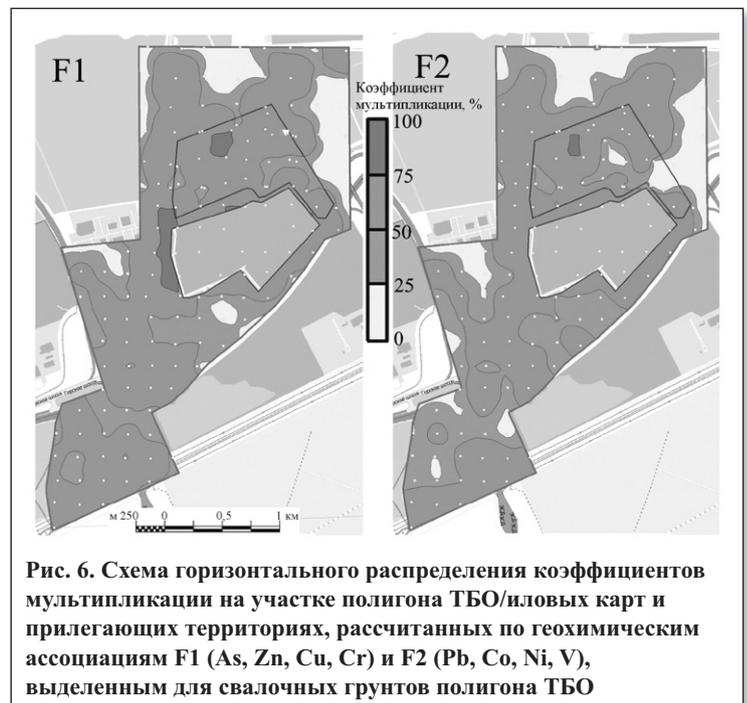
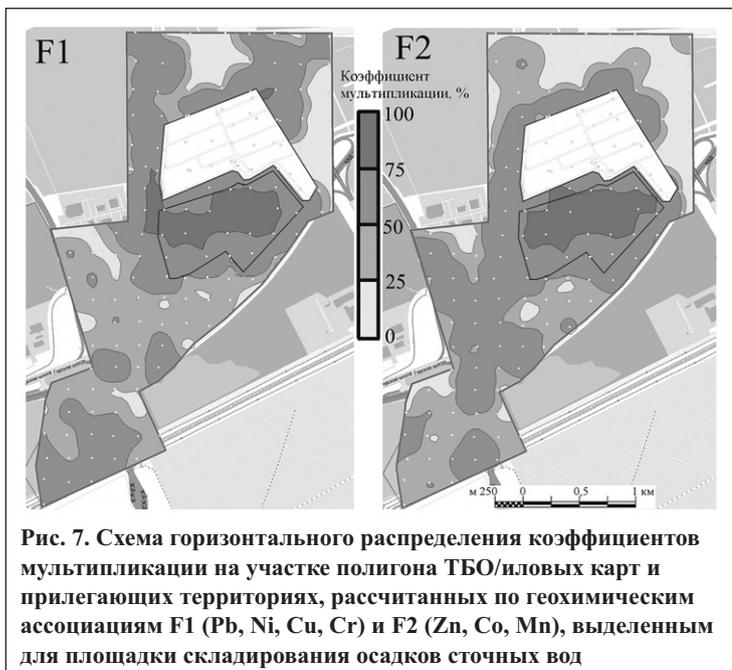


Рис. 6. Схема горизонтального распределения коэффициентов мультипликации на участке полигона ТБО/иловых карт и прилегающих территориях, рассчитанных по геохимическим ассоциациям F1 (As, Zn, Cu, Cr) и F2 (Pb, Co, Ni, V), выделенным для свалочных грунтов полигона ТБО



щади реки Черная, впадающей в Лахтинский разлив², геохимический след от воздействия рассматриваемого техногенного комплекса может прослеживаться на большой площади и в законсервированном виде в донных осадках. Для подтверждения такой возможности необходимы дополнительные изотопные исследования по установлению происхождения литохимических аномалий в донных осадках Финского залива.

Выводы

1. По результатам проведенных аналитических исследований можно установить довольно большой размах вариаций по содержанию Pb, Zn, Cu, Cr, Mn (максимальная концентрация Mn — 3 000 мг/кг, Cr — 2 000 мг/кг). Также большим разбросом отличается содержание Sr (максимальная концентрация — около 500 мг/кг при среднем содержании 100 мг/кг).

2. Схема распределения суммарного показателя загрязнения Z_c по поверхности, построенная в масштабе 1:25 000 по данным анализа проб грунтов, показала наличие четырех категорий загрязнения: допустимого ($Z_c < 16$) — на 50% территории; умеренно опасного ($Z_c = 16 \div 32$) — примерно на 5%; опасного — примерно на 40% (в основном на полигоне ТБО). В центре участка (на западной и восточной окраинах полигона ТБО) выделяются две зоны общей площадью 0,5 км², на которых грунты по суммарному показателю загрязнения относятся к категории чрезвычайно опасных ($Z_c > 128$).

3. Разработанный методический подход позволяет с высокой степенью точности описывать происхождение техногенных геохимических аномалий и устанавливать их источники. Следовательно, он может быть применен в области экологической криминалистики и для целей разработки эффективных мероприятий по рациональному природо- и недропользованию как в отдельных районах, так и на всей территории Санкт-Петербурга.

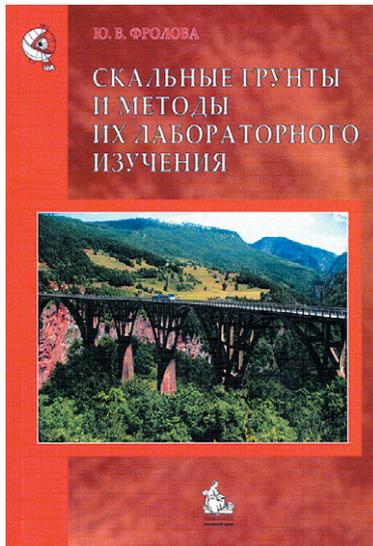
4. Разработанный подход может быть использован при оценке ассимиляционного потенциала системы санитарно-защитных зон, в том числе достаточности их площади и степени озеленения. Используя данные литогеохимической съемки более мелкого (по сравнению с масштабом проведенной работы) масштаба, например 1:5 000, с помощью разработанного подхода можно провести оценку основных потоков загрязнителей и разработать мероприятия по усилению естественных или созданию техногенных геохимических барьеров, пересекающих пути миграции загрязнителей.

5. Разработанный подход может быть использован при оценке ассимиляционного потенциала системы санитарно-защитных зон, в том числе достаточности их площади и степени озеленения. Используя данные литогеохимической съемки более мелкого (по сравнению с масштабом проведенной работы) масштаба, например 1:5 000, с помощью разработанного подхода можно провести оценку основных потоков загрязнителей и разработать мероприятия по усилению естественных или созданию техногенных геохимических барьеров, пересекающих пути миграции загрязнителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. М.: Высшая школа, 1999. 576 с.
2. Водолеев А.С., Зубко И.А. Утилизация осадков сточных вод: из опасных отходов — в удобрения // Экология Сибири: практика решения проблем. 2008 г. № 5 (130). С. 29–32.
3. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: Изд-во Почвенного института им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 84 с.
4. Геологический атлас Санкт-Петербурга. СПб.: Комильфо, 2009. 57 с.
5. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Издательство стандартов, 1985.
6. Иванович Г.А. Статистический анализ экогеологических данных / под ред. И.М. Хайковича, В.В. Куриленко. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010. 204 с.
7. Подлипский И.И. Аккумулятивная биоиндикация в инженерно-экологических изысканиях // Инженерные изыскания. 2014. № 1. С. 44–52.
8. Подлипский И.И. Полигон бытовых отходов как объект геологического исследования // Вестник СПбГУ. 2010. Сер. 7. Вып. 1. С. 15–31.
9. Подлипский И.И. Эколого-геологическая оценка парагенетических геохимических ассоциаций функциональных зон Санкт-Петербурга // Инженерные изыскания. 2013. № 12. С. 46–52.
10. Потапов П.А., Пузырев Е.И., Потапов А.Д. Методы локализации и обработки фильтрата полигонов захоронения ТБО. М.: АСВ, 2004. 166 с.
11. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Влияние органического вещества на миграцию тяжелых металлов на участках складирования ТБО // Экология. Вып. 76. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 100 с.
12. Саит Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 334 с.
13. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М.: Недра, 1985. 294 с.

² Лахтинский разлив — озеро лагунно-лиманного типа в Приморском районе Санкт-Петербурга на северном берегу Невской губы Финского залива, отделенное от Невской губы песчаной пересыпью и имеющее гидравлическую связь с Финским заливом.



В 2015 году в издательстве «Книжный дом Университет» (г. Москва) вышла книга Ю.В. Фроловой «СКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ И МЕТОДЫ ИХ ЛАБОРАТОРНОГО ИЗУЧЕНИЯ»

В данном учебном пособии рассмотрены инженерно-геологические особенности горных пород и лабораторные методы изучения их физических свойств.

В первой части охарактеризованы генетические типы скальных грунтов, приведены данные по их вещественному составу, структурно-текстурным характеристикам, физическим и физико-механическим свойствам, проанализированы факторы, влияющие на их свойства, дана характеристика скальных массивов.

Во второй части подробно описан комплекс лабораторных методов изучения скальных грунтов, включая обработку данных и составление отчета по результатам исследований.

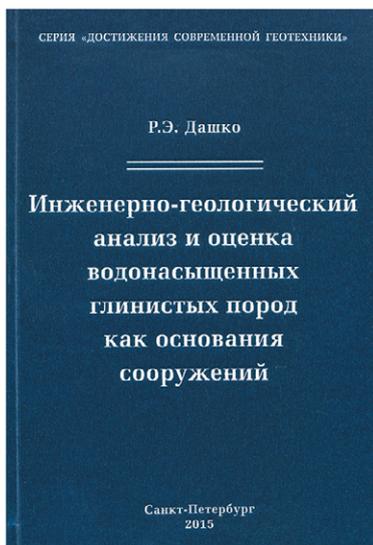
Пособие предназначено для студентов и аспирантов, обучающихся по инженерно-геологической специальности в российских высших учебных заведениях, а также для специалистов научных и производственных организаций, проводящих инженерно-геологические изыскания в районах распространения скальных грунтов.



В 2015 году в издательстве ООО «САМ ПОЛИГРАФИСТ» (г. Москва) вышла монография В.А. Королёва «ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОПОВЕРХНОСТНЫХ ЯВЛЕНИЙ В ГРУНТАХ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ»

В монографии впервые наиболее полно излагается теория электроповерхностных явлений (электроосмоса, электрофореза, поверхностной проводимости и др.) в грунтах, а также рассматривается практическое применение этих явлений в разных областях. Анализируются особенности двойного электрического слоя в грунтах, влияющие на их свойства, поверхностная проводимость, а также другие явления, сопутствующие электрокинетическим процессам (электромиграции неорганических и органических компонентов, электролизу, электрокоагуляции и др.). С учетом последних мировых достижений рассматриваются различные промышленные, в том числе инновационные, технологии, основанные на электроповерхностных явлениях в грунтах и широко применяемые в разных областях геологии, строительства, сельского хозяйства, а также для решения экологических задач, связанных с очисткой грунтов от токсичных загрязнений и восстановления загрязненных территорий.

Книга предназначена для специалистов в области инженерной и экологической геологии, геоэкологии, строительства, промышленной экологии, гидрогеологии, геокриологии, нефтяной геологии, геохимии, почвоведения, геофизики, географии, а также для студентов и аспирантов геологических вузов, обучающихся по соответствующим специальностям.



В 2015 году издательство Института «Геореконструкция» (г. Санкт-Петербург) выпустило книгу Р.Э. Дашко «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД КАК ОСНОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ»

В книге теоретически и экспериментально доказано, что инженерно-геологический анализ условий работы системы «сооружение — основание» может быть выполнен на основе рассмотрения природы прочности и деформируемости пород основания, находящихся под воздействием техногенных факторов — нагрузки, промышленных стоков, температуры. На основе теоретических представлений о природе структурных связей глинистых пород, развития в них макро- и микротрещиноватости и информации о свойствах воды экспериментально выявлены закономерности изменений прочности и процессов деформирования глинистых пород различной степени литификации.

Экспериментально подтверждено, что процесс перераспределения давления между скелетом горной породы и поровой водой зависит от степени литификации грунта и содержания в нем глинистой фракции, определяющей структурированность воды.

Предложено понятие градиента начала фильтрационной консолидации. Показано, что его величина и значение начального градиента напора существенно различаются. Раскрыта физическая сущность этих градиентов. Предложена эмпирическая формула для расчета градиента начала фильтрационной консолидации. При отсутствии фильтрационной консолидации глинистую породу

следует рассматривать как квазиднофазную среду, поведение которой определяется реологическими процессами.

Экспериментально подтверждено, что в процессе эксплуатации оснований зданий и сооружений наиболее существенные физико-химические преобразования протекают в трещиноватых породах при конвективном перемещении промышленных стоков. Опытным путем получено значение порога осмотической усадки, ниже которого происходит набухание грунтов. Выделено пять типов набухания в зависимости от соотношения концентраций фильтрующегося и порового растворов и состояния породы.

На базе теоретического обобщения и анализа экспериментальных данных показано, что изменения температурного режима следует учитывать через учет непосредственного влияния температуры и действия градиента температур, который вызывает термовлагоперенос.

Разработаны расчетные модели оснований сооружений на основе представлений о глинистых породах как о трещиновато-блочной среде и среде с одинарной пористостью.