

УДК 502:581.5

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА СЕВЕРНЫХ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. ПЕТРОЗАВОДСКА)

**Н. В. Крутских¹, Г. С. Бородулина², Н. М. Казнина³,
Ю. В. Батова³, П. А. Рязанцев¹, Г. В. Ахметова⁴,
С. Г. Новиков⁴, И. Ю. Кравченко²**

¹ Институт геологии Карельского научного центра РАН

² Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН

³ Институт биологии Карельского научного центра РАН

⁴ Институт леса Карельского научного центра РАН

На примере г. Петрозаводска изучены геохимический состав снежного покрова, почв и приповерхностных отложений, подземных вод, а также биогеохимические и морфологические особенности растительных сообществ в различных функциональных городских зонах. Исследования атмосферных осадков показали повышенное содержание в них K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Fe. Все пробы снега загрязнены нефтепродуктами. Из тяжелых металлов во всех пробах снега выявлено повышенное содержание Си. Практически везде на застроенной территории города имеется устойчивое нитратное загрязнение грунтовых вод, вода многих источников носит следы закисления. Периодически определяются высокие концентрации различных элементов, однако устойчивые аномалии в грунтовых водах города образуют лишь литофильные микроэлементы (В, Ва, Sr, U) природного происхождения. Почвы на территории города подщелочены по всему профилю, характеризуются более высоким содержанием углерода и других элементов минерального питания. По содержанию тяжелых металлов почвы соответствуют допустимой категории загрязнения, однако вблизи промышленных объектов, крупных автодорог, автогазажей выявлены высокие концентрации свинца. По геохимическим данным определены природные и техногенные факторы формирования химического состава почв. Проведено изучение растительных травянистых сообществ, расположенных вблизи промышленных предприятий, включающее анализ видового разнообразия, проективного покрытия видов, морфометрических признаков растений, химического состава. Выявлены показатели, которые могут служить индикаторами загрязнения почв тяжелыми металлами. На основании выполненных исследований сформулирована общая концепция проведения геоэкологического мониторинга г. Петрозаводска.

К л ю ч е в ы е с л о в а: урбанизированные территории; геохимические особенности; снеговой покров; подземные воды; почвы; травянистые сообщества; геоэкологический мониторинг.

**N. V. Krutskikh, G. S. Borodulina, N. M. Kaznina, Yu. V. Batova,
P. A. Ryazantsev, G. V. Akhmetova, S. G. Novikov, I. Yu. Kravchenko.
GEOECOLOGICAL BASIS FOR SETTING UP THE MONITORING OF
URBANIZED AREAS IN THE NORTH (THE EXAMPLE OF PETROZAVODSK)**

The geochemistry of the snow cover, soils and near-surface sediments, subsurface water, as well as biogeochemical and morphological characteristics of plant communities in different functional zones of the city were studied in Petrozavodsk. The studies revealed elevated levels of K^+ , Ca^{2+} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , Fe in precipitation. All snow samples were contaminated with oil products. Speaking of heavy metals, high content of Cu was detected in all snow samples. Steady nitrate contamination of the groundwater was determined in nearly all built-up areas of the city. Water in many springs had signs of acidification. High concentrations of various elements have been occasionally recorded, but only naturally occurring lithophiles (B , Ba , Sr , U) have formed stable anomalies in the city's groundwater. Soils in the city are alkaline throughout the profile. They are characterized by a high content of carbon and other mineral nutrients. Heavy metal content in the soils falls in the allowable pollution category. High concentrations of lead were, however, revealed near industrial sites, major roads, garages. Based on geochemical data, the natural and anthropogenic factors for the formation of the chemical composition of the soils were determined. Herbaceous plant communities in the vicinity of industrially contaminated areas were studied, including the analysis of species diversity, percent cover of species, morphometric parameters of plants and their chemical composition. The indices that can be used as indicators of heavy metals soil pollution were identified. Based on these studies, the general concept of geo-environmental monitoring of the City of Petrozavodsk was formulated.

Key words: urbanized areas; geochemical characteristics; snow cover; subsurface water; soil; herbaceous community; geoecological monitoring.

Введение

Комплексность геоэкологических исследований при проведении мониторинга различных территорий позволяет выявить причинно-следственные связи между явлениями и процессами, протекающими внутри геоэкосистем, отразить их изменения в ходе функционирования, динамики и эволюции. Основой для выделения конкретных параметров мониторинга является геоэкологическая оценка современного и палеосостояния системы, выявление факторов геоэкологического риска, характерных для изучаемой территории. В городах и промышленных центрах происходит техногенная трансформация практически всех компонентов геоэкосистемы. Наиболее измененной в пределах городов является геохимическая функция природной среды, что выражается в загрязнении атмосферного воздуха, поверхностной и подземной гидросферы, приповерхностной части литосферы. Особую группу поллютантов представляют тяжелые металлы. Накапливаясь в различных компонентах экосистемы в избыточных количествах, они оказывают негативное влияние на жизнедеятельность всех живых организмов. В результате изменяется видовой состав и структура биоценозов, а иногда наблюдается и полная их деградация. Опасность

тяжелых металлов усугубляется еще и тем, что они обладают кумулятивным эффектом и способны по пищевым цепям поступать в организм человека, создавая угрозу его здоровью.

Петрозаводск относится к крупным городам, в прошлом с развитой индустриальной структурой. В настоящее время техногенную нагрузку на окружающую среду создают небольшие промышленные производства, преимущественно деревообрабатывающего, пищевого, строительного направлений, увеличенный за последние годы автотранспортный парк, а также расширение застраиваемой территории. Наблюдение и контроль за состоянием компонентов природной среды города является необходимой мерой, позволяющей выявлять факторы экологического риска и своевременно исключать возможность неблагоприятного состояния геоэкосистем.

Целью настоящей работы является разработка принципов организации геоэкологического мониторинга на основе комплексной оценки состояния компонентов природной среды г. Петрозаводска.

Материалы и методы

В рамках разработки методики проведения мониторинга детально изучены геохимические

Таблица 1. Методы химического анализа воды

Параметр	Аналитический метод
pH	Потенциометрическое определение стеклянным электродом
Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Fe _{общ.} , Mn	Пламенное атомно-абсорбционное спектрометрическое определение
Na ⁺ , K ⁺	Пламенно-фотометрическое определение
Щелочность	Потенциометрическое определение (pH 4,5–4,2)
SO ₄ ²⁻	Фотометрическое определение с Ba ²⁺ и сульфоназо III, l = 640 нм
Cl ⁻	Фотометрическое определение с роданидом ртути и нитратом железа (III), l = 460 нм
NH ₄ ⁺	Фотометрическое определение с гипохлоритом и фенолом, l = 630 нм
NO ₂ ⁻	Фотометрическое определение с сульфаниламидом и N-(1-нафтил)-этилендиамином
NO ₃ ⁻	Восстановление до NO ₂ ⁻ на Cd-Cu редуторе и определение NO ₂ ⁻
P _{мин}	Фотометрическое определение с молибдатом аммония, l = 882 нм
P _{общ.}	Окисление K ₂ S ₂ O ₈ в кислой среде и определение PO ₄ ³⁻
Перманганатная окисляемость (ПО)	Титриметрическое определение в кислой среде по Кубелю
Al	Фотометрическое определение с хромазуролом S, λ = 500–700 нм
Si	Фотометрическое определение с молибдатом аммония, l = 410 нм
Тяжелые металлы (Pb, Cu, Zn, Cd)	Атомно-абсорбционная спектрометрия с электротермической атомизацией

особенности приповерхностной атмосферы (по снежному покрову), проведены исследования изменения физико-химических свойств городских почв, а также дана интерпретация данных химического состава почв и грунтов, подземных вод. Проведены работы, направленные на изучение применения геофизических методов в исследовании загрязнения почв и грунтов нефтепродуктами. Изучены видовой состав и состояние травянистых сообществ, расположенных в различных функциональных участках города.

Отбор проб атмосферных осадков осуществлялся зимой, т. к. в этот период практически отсутствует ветровая эрозия и поступление химических веществ с поверхности земли. Снежный покров является накопителем веществ, поступающих из атмосферы, которые сохраняются в нем в течение зимы, что позволяет достоверно оценить состояние приземного слоя воздушной среды. Пробы снега отбирались на удалении от автодорог. Аналитическая работа проводилась в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН. Показатели и методы определения представлены в таблице 1.

При эколого-гидрогеологических исследованиях для изучения техногенной метаморфизации химического состава подземных вод используются методологические положения и приемы, применяемые в геохимии питьевых вод и поисковой гидрогеохимии. Химический анализ проб воды выполнялся в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС (табл. 1), микрокомпонентный состав анализировался методом ICP-MS (аналитическая лаборатория ИГ КарНЦ РАН).

Изучение физико-химических свойств почв города Петрозаводска проведено по 15 полно-профильным разрезам, заложенным на участках различных категорий землепользования: земли общего пользования, городской и сельской застройки, земли резерва и природно-рекреационной зоны. Были отобраны образцы почв по генетическим горизонтам, в которых определялись кислотно-щелочные показатели, содержание гумуса, сумма обменных оснований, содержание подвижных форм калия и фосфора по общепринятым методикам [Агрохимические методы..., 1975].

Для определения содержания тяжелых металлов осуществляли отбор смешанных почвенных проб из верхнего 10-сантиметрового слоя методом «конверта» 10 × 10 м [Стурман, 2003]. Всего отобрано 96 почвенных образцов на землях различного пользования, в которых определено валовое содержание тяжелых металлов (Pb, Cu, Ni, Zn, Co, Cr, Mn) методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (использовалось оборудование ЦКП «Аналитическая лаборатория» ИЛ КарНЦ РАН). По полученным геохимическим данным рассчитан показатель суммарного загрязнения Zc [Сае и др., 1990] с учетом среднего геометрического коэффициента концентрации и коэффициентов токсичности тяжелых металлов [Водяницкий, 2010].

Согласно методическим рекомендациям, если концентрации тяжелых металлов не превышают фоновые, то исследования на предмет других видов загрязнения не проводятся [Стурман, 2003]. Однако для полной геохимической характеристики дополнительно сделано

опробование верхнего горизонта почв и приповерхностных отложений с площадок 5 × 5 м для определения полного спектра элементов методом ICP-MS. Анализ выполнен в аналитической лаборатории ИГ КарНЦ РАН, методика подробно описана в [Светов и др., 2015]. По полученным геохимическим данным проведен факторный анализ методом главных компонент. Для повышения контрастности выполнено вариационное вращение. Данные химического анализа прологарифмированы для приближения к нормальному закону распределения. При статистической обработке данных использовалась программа Statistica 6.0.

Геофизические работы выполнены с использованием методов удельных электрических сопротивлений (УЭС) и вызванной поляризации (ВП), которые широко применяются при геоэкологических изысканиях [Dahlin, 2010; Vaudelet, 2011]. Измерения осуществлялись при помощи электроразведочной станции «Скала-48».

Изучение влияния техногенного загрязнения почв на видовой состав и состояние растительных сообществ проводили вблизи (на расстоянии 50–100 м) двух промышленных предприятий, длительное время функционировавших на территории г. Петрозаводска, – Онежского тракторного завода (ОТЗ) и судостроительного завода «Авангард». Контролем служил условно чистый участок, расположенный в 20 км к востоку от г. Петрозаводска. Геоботаническое описание сообществ осуществляли по стандартной методике на пробных участках размером 10 × 10 м в период цветения доминирующих видов растений. Классификация жизненных форм дана по Раункиеру [Raunkiaer, 1934], отнесение видов к экологическим группам – по [Горышина, 1979]. Латинские названия видов растений соответствуют сводке С. К. Черепанова [1995]. Содержание тяжелых металлов в органах растений определяли у доминирующих на изученных участках видов растений: *Dactylis glomerata* L. (сем. *Poaceae*) и *Taraxacum officinale* F. H. Wigg. (сем. *Asteraceae*) методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS).

Результаты исследований

Снеговой покров

Результаты исследования химического состава снежного покрова на территории г. Петрозаводска показали содержание в нем практически всех компонентов выше фоновых значений (табл. 2). Следует отметить, что в качестве

средних величин были использованы медианные значения, а в качестве фоновых – медианные значения химических показателей зимних атмосферных осадков на участках территории Республики Карелия, удаленных от промышленных центров.

Повышенное содержание в талой снеговой воде ионов Na^+ и Cl^- связано с использованием песчано-солевой смеси для посыпки дорог. Как известно, в незагрязненных районах хлориды в атмосферных осадках имеют морское происхождение [Бримблкумб, 1988]. Расчеты показали, что сульфаты в исследованных пробах снега находятся не в кислотной, а в солевой форме. Источниками калия, кальция, сульфатов, гидрокарбонатов в зимних атмосферных осадках городской среды являются пылевидные частицы цемента и известняка. Среднее значение pH (6,25) выше равновесного, принятого для атмосферных осадков (5,6) [Израэль и др., 1989], и среднего (4,85) значения, полученного ранее для этого района [Лозовик, Потапова, 2006], что связано с нейтрализацией осадков пылевидными выбросами, содержащими карбонатные и силикатные частицы.

Атмосферные осадки являются существенным источником поступления биогенных элементов и отличаются низким содержанием органического вещества (табл. 2).

Все пробы снега загрязнены нефтепродуктами. Наиболее высокие концентрации зафиксированы в районах Кукковка (0,14 мг/л), Ключевая (0,08 мг/л), Древлянка (0,07 мг/л) и на пр. К. Маркса (0,07 мг/л). В целом загрязнение снежного покрова нефтепродуктами согласуется с транспортной нагрузкой в этих частях города.

Наблюдалось повышенное содержание общего железа в атмосферных осадках в районе ТЭЦ, стадиона «Динамо» и у автовокзала. Средние концентрации $\text{Fe}_{\text{общ}}$ и Al незначительно превышали фоновые значения (табл. 2).

Среди определяемых металлов Zn, Cu, Pb, Cd можно отметить высокое содержание меди в пробах снега. Максимальная концентрация меди – в районе ТЭЦ (6,1 мкг/л). Среднее значение (1,5 мкг/л) этого элемента выше ПДК (1 мкг/л) для рыбохозяйственных водоемов. Медианные концентрации цинка, свинца и кадмия значительно ниже ПДК.

Подземные воды

Территория г. Петрозаводска располагается в пределах субартезианского бассейна, включающего наиболее водообильный нижнекотлинский водоносный горизонт, который

Таблица 2. Химический состав снежного покрова

Статистические показатели	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	pH	Alk мгHCO ₃ ⁻ /л	Fe _{общ} мг/л	Al мг/л	Si мг/л	ПО мгО/л	P _{мин} мкг/л	P _{общ} мкг/л	NH ₄ ⁺ мгN/л	NO ₂ ⁻ мгN/л	NO ₃ ⁻ мгN/л	H/лп мг/л	Zn	Cu	Pb	Cd
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л																
Минимум	0,04	0,22	0,59	0,03	0,71	0,46	5,92	0,53	0,03	0,02	0,14	0,35	1,00	5,00	0,17	0,0005	0,19	0,05	5,10	0,40	0,10	0,02
Максимум	0,34	0,68	1,39	0,12	3,01	0,98	6,45	3,18	0,14	0,05	0,63	0,67	20,00	30,00	0,34	0,0040	0,27	0,14	8,80	6,10	0,50	0,06
Среднее	0,13	0,41	0,84	0,06	1,26	0,62	6,20	1,53	0,06	0,04	0,42	0,50	6,89	15,33	0,26	0,0011	0,23	0,07	6,81	1,94	0,30	0,03
Медиана	0,09	0,36	0,75	0,04	1,00	0,56	6,25	1,59	0,05	0,04	0,47	0,51	4,00	13,00	0,30	0,0010	0,22	0,06	6,80	1,50	0,30	0,03
Стандартное отклонение	0,09	0,16	0,27	0,03	0,71	0,16	0,16	0,83	0,04	0,01	0,14	0,13	7,41	8,99	0,06	0,0011	0,03	0,03	1,14	1,64	0,12	0,01
Коэффициент вариации	104,5	45,0	36,0	76,0	71,4	27,9	2,5	52,4	75,1	22,0	30,5	24,8	185,2	69,1	21,3	111,2	12,7	47,1	16,8	109,2	40,8	48,4
Фон	0,06	0,18	0,26	0,05	0,70	0,48	4,98	-	0,04	0,03	0,02	1,01	1,5	9	0,09	0,001	0,20	0,03	-	-	-	-

перекрывает мощной толщей четвертичных отложений. Среди них выделяются онегозерский межморенный водоносный горизонт и грунтовые воды ледниковых и озерно-ледниковых песчаных и супесчаных отложений. Эти воды вскрываются родниками, и население города активно их использует, несмотря на то что статуса источников водоснабжения они не имеют. Воды первых от поверхности водоносных горизонтов особенно уязвимы к загрязнению. Практически вся территория города является областью питания грунтовых вод, и нарушенные условия пород зоны аэрации сказываются на режиме грунтовых вод. Значительные колебания температуры грунтовых вод свидетельствуют о том, что их формирование происходит неглубоко от поверхности земли и водоносный горизонт испытывает существенное влияние климатических и антропогенных факторов.

Показатели химического состава воды также зависят от природных и антропогенных условий: более защищенные горизонты отличаются практически постоянными показателями величины pH, неглубокие горизонты характеризуются либо постоянно кислыми водами, либо резкими колебаниями pH.

Прямыми показателями загрязнения грунтовых вод являются азотные соединения, и в первую очередь нитраты – продукты распада белковых соединений. Единственным геохимическим фактором, влияющим на изменение концентраций соединений азота в подземных водах, является их окислительно-восстановительный потенциал [Крайнов и др., 1991]. Околонеутральные кислородные воды, характерные для грунтовых вод, являются благоприятными для неограниченного роста NO₃⁻. В условиях низких положительных значений Eh (< +200 мВ) содержание NO₃⁻ резко уменьшается, поэтому в межморенных и глубоких водоносных горизонтах, вскрываемых скважинами, наблюдаются невысокие, близкие к фоновым концентрации нитратов и повышенное содержание аммонийной формы азота [Лозовик, Бородулина, 2009].

В грунтовых водах города концентрация NO₃⁻ достигает очень высоких значений (200–300 мг/л), при этом нитраты сильно повышают минерализацию и становятся преобладающим анионом. Происходит метаморфизация химического состава подземных вод, и тип воды преобразуется в нитратный. По данным многолетних наблюдений, изменений в лучшую сторону в загрязненных источниках не происходит.

Помимо нитратов компонентами, отражающими влияние хозяйственной деятельности и изменяющими химический тип воды,

являются калий, натрий, хлориды. Показатель Na/K служит одним из важнейших для оценки гигиенического состояния воды. И если в естественных условиях это отношение обычно составляет 10 и более, в загрязненных водах – приближается к 1. Хлориды достигают концентраций 100 мг/л при фоновых не выше 10 мг/л [Бородулина, 2006].

Наиболее ярким примером влияния хозяйственной деятельности на грунтовые воды явилось состояние водных объектов на территории свалки бытовых отходов города. В условиях маловодного 2014 г. речной сток в период летне-осенней межени практически полностью формировался за счет подземного притока. Поэтому химический состав воды дренажных канав и реки Нелуксы, протекающей в районе свалки, в этот период отражал техногенный грунтовый сток, состав которого представлял собой хлоридно-аммиачный щелочной (рН 8) раствор высокой минерализации (3,3 г/л). Среди минеральных форм азота высокой концентрации достигал аммонийный (83 мгN/л) и нитратный (15 мгN/л) азот. Содержание хлор-иона в воде дренажной канавы составило 767 мг/л, калия 330 мг/л, что в сотни раз превышает фоновые значения содержания этих элементов не только в поверхностных, но и в подземных водах верхней, хорошо промытой от растворимых веществ зоны свободного водообмена.

Микрокомпонентный анализ воды городских родников (около 150 проб) показал, что в составе грунтовых вод периодически отмечаются высокие концентрации всех микроэлементов, в том числе тех, которые не образуют аномалий в природных условиях Карелии. Анализ данных выявил значительные колебания во времени и по площади концентраций многих микроэлементов в грунтовых водах и позволил определить наличие аномалий, их природу, интенсивность и устойчивость. Специфика задач по исследованию загрязнения подземных вод требует изучения как распределения отдельных химических элементов и соединений, так и их ассоциаций. Наиболее контрастной (коэффициент концентрации $K_c > 3$) и распространенной по площади на территории города является аномалия, включающая В-Ba-Sr-U, которая усложняется на отдельных участках многими элементами, в том числе Cu, Ni, Rb, Br, V, Pb, Zn, Cd, ZTR. Группа элементов (Pb, Zn, Be, Cr, Co, Cd, Sb, W, Mo, Li, Br) образует на локальных участках менее контрастные аномалии ($K_c = 1,5-3$). Остальные микроэлементы встречаются в значимых концентрациях редко (< 30 %) [Бородулина, 2015].

Характер ассоциации элементов основных аномалий свидетельствует о значительном влиянии на формирование микрокомпонентного состава подземных вод природных факторов – геологического и геоморфологического строения. На северо-западной окраине города родниками дренируются воды флювиогляциальных отложений, ближе к озеру – ледниковых и озерно-ледниковых валдайского комплекса. В долинах рек Лососинки и Неглинки разгружаются воды более глубоких межморенных горизонтов. При значительной фациальной неоднородности отложений, резком изменении мощностей водовмещающих и слабопроницаемых пород, большом количестве эрозионных врезов, техногенной нарушенности верхней части разреза создаются благоприятные условия взаимодействия смежных водоносных горизонтов. Поэтому состав грунтовых вод на территории города в зависимости от расчлененности рельефа, условий и интенсивности разгрузки нижележащих вод в той или иной степени отражает состав последних. Для межледникового горизонта характерна ассоциация элементов с аномальными концентрациями Fe-Mn-Ba-Sr-U. Высокие концентрации Fe и Mn объясняются бескислородными условиями онегозерского водоносного горизонта. В, Ba, Sr – хорошие мигранты в любых условиях. Аномалии U в грунтовых водах города связаны с его рудопроявлениями в коренных породах.

Результаты наблюдения за грунтовыми водами на территории города Петрозаводска позволили выделить группы источников: загрязненные нитратами в концентрациях, постоянно и периодически превышающих ПДК для питьевых вод (45 мг/л); источники с постоянно низкими значениями рН (<6); группа источников, вскрывающих онегозерский межморенный горизонт на водосборной территории р. Лососинки ($Fe > 0,3$ мг/л); условно чистые источники на границах зеленой зоны города (рис. 1).

Почвенный покров

Одним из основных концентраторов различных химических загрязняющих веществ в биосфере является почва, которая, с другой стороны, может быть потенциальным источником вторичного загрязнения приземного слоя атмосферы, поверхностных и грунтовых вод. В городских условиях почвы сильно преобразованы, однако выполняют важные экологические функции.

Анализ физико-химических показателей почвенного покрова выявил значительное отличие почвы г. Петрозаводска по химическим

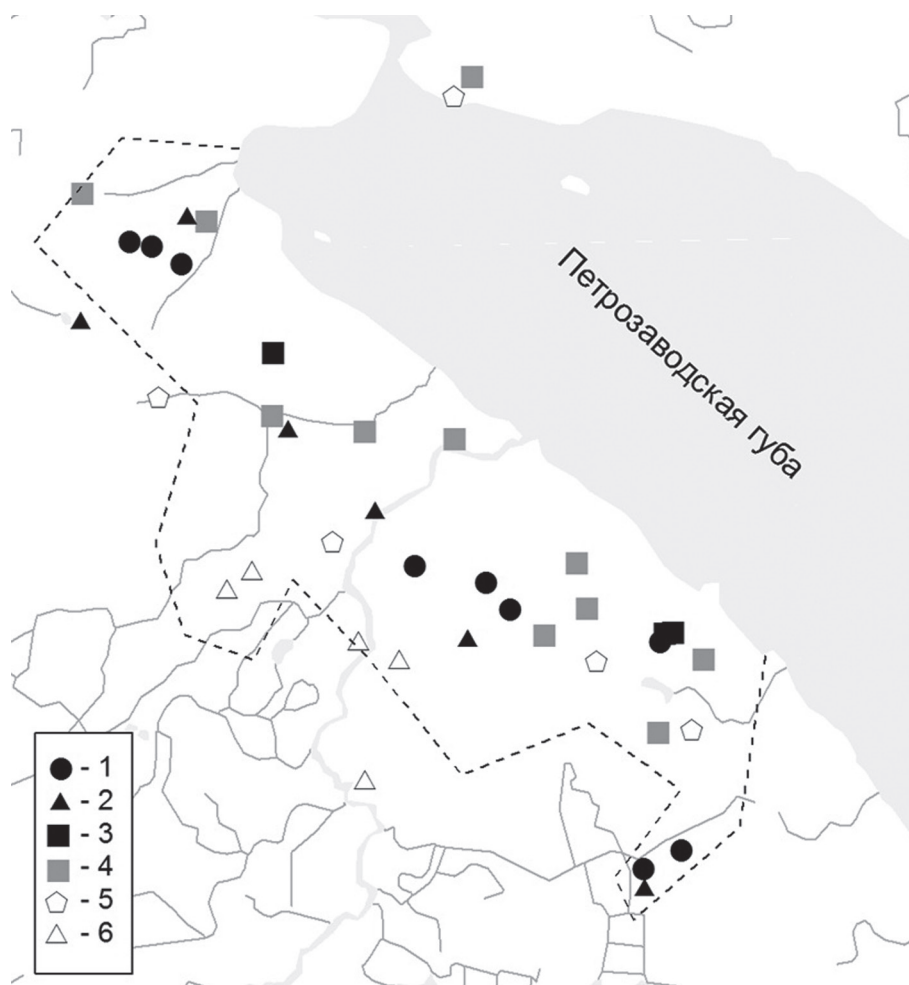


Рис. 1. Расположение наблюдаемых родников на территории г. Петрозаводска: 1–3 – источники, вода которых постоянно не соответствует ПДК (1 – по нитратам, 2 – по рН, 3 – по нитратам и рН); 4 – с периодическими превышениями ПДК по нитратам; 5 – условно чистые; 6 – железистые

характеристикам от естественных почв региона [Морозова, 1991]. Урбанизированная территория характеризуется преимущественно нейтральной и слабощелочной реакцией среды (рН 7–8), тогда как территории с низкой антропогенной нагрузкой (почвы природно-рекреационной зоны) – кислой (рН 3–4). Причины подщелачивания почв можно выделить несколько: попадание с поверхностным стоком и дренажными водами реагентов, которыми посыпают тротуары и дороги в зимний период; высвобождение под воздействием кислотных осадков ионов кальция из обломков строительного мусора; наличие в аэротехногенных выбросах промышленных предприятий щелочных и щелочноземельных металлов; попадание на поверхность почвы машинных масел, которые чаще всего содержат щелочные присадки [Методические указания..., 2003; Федорец, Медведева, 2005]. В целом процесс подщелачивания почвы благоприятно сказывается на ее

свойствах и плодородии, в частности, снижается степень подвижности металлов, что положительно влияет на рост и развитие растений, способствует активизации микробного сообщества. Однако дальнейшее подщелачивание (при рН более 7,5) приводит к нарушению равновесия почвенно-геохимических процессов, ведущих к понижению устойчивости экосистемы и гибели растительности [Методические указания..., 2003].

Также почвы города отличаются более высоким содержанием элементов минерального питания, чем естественные, особенно почвы на землях городской и сельской застройки. Выявлено, что исследуемые почвы характеризуются высокими значениями суммы обменных оснований (до 50 мг-экв./100 г) и степени насыщенности основаниями (до 70–98 %). Однако эти величины сильно варьируют в зависимости от категории земель и степени антропогенной преобразованности почв. Также изучаемые

Таблица 3. Валовое содержание тяжелых металлов в почвах Петрозаводска (n=96), предельно допустимые концентрации и фоновые показатели, мг/кг

Элемент	Среднее (x)	Ср. геом.	Min	Max	Коеф. вариации V, %	ПДК*	ОДК**	Регион. фон [Федорец и др., 2008]
Pb	35,3	23	2,5	441,8	153	32	32	15,5
Cu	35,4	29,1	8	186,7	73	-	33	18,5
Zn	69,8	63,5	18,6	136,4	41	-	55	37,2
Ni	25,9	23,1	5,4	122,2	56	-	20	27,5
Co	10,6	9,8	3,9	32,9	43	-	-	11,6
Cr	29,9	27,4	7,2	79	42	-	-	47,3
Mn	819,4	721,6	268,9	4349,6	64	1500	-	282

Примечание. *ГН 2.1.7.2041–06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. **ГН 2.1.7.2511–09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве.

почвы города, особенно на землях сельской застройки, обогащены подвижными соединениями фосфора (до 200–300 мг/100 г) и калия (до 56 мг/100 г).

Содержание органического углерода является важным показателем качественного состояния почвы. Почвы города более обогащены углеродом (до 18–19 %), чем природные почвы региона. Данная закономерность связана с тем, что зачастую субстрат (органо-минеральные смеси, торфы, удобрения), из которого формируются городские почвы, характеризуется повышенным содержанием органического вещества. Исключение составляют почвы, сохранившие свое естественное строение, для них характерно низкое содержание органического вещества (менее 1 %), свойственное природным почвам. Тем не менее плодородие городских почв невысокое, так как они бедны азотом (менее 0,1 %).

Основными техногенными источниками тяжелых металлов на урбанизированных территориях являются предприятия цветной и черной металлургии, промышленные производства, ТЭЦ, сжигающие уголь, сжигание различных видов топлива, автотранспорт, минеральные и органические удобрения и т. п. В Петрозаводске в настоящее время повышение уровня тяжелых металлов в окружающей среде происходит в основном за счет автотранспорта. Высокие концентрации свинца обусловлены использованием до недавнего времени бензина, содержащего тетраэтилсвинец. Сжигание топлива, главным образом дизельного, способствует накоплению меди в окружающей среде. Многочисленные несанкционированные свалки твердых бытовых отходов также являются поставщиками токсичных веществ. Особенно загрязняют почву тяжелыми металлами батарейки, аккумуляторы, лакокрасочные покрытия, автомобильные покрываки, электропровода и обмотка.

Городские почвы характеризуются низкой (Cu, Ni, Co, Cr, Mn), иногда средней (Zn) и редко сильной (Pb) степенью загрязнения тяжелыми металлами. В среднем содержание Pb, Cu, Zn и Mn выше фоновых показателей, в то время как средние концентрации Ni, Co и Cr не достигают регионального фона [Ахметова, Новиков, 2014; Тяжелые металлы..., 2015; Новиков, 2015]. Статистические данные валового содержания тяжелых металлов в почвах города Петрозаводска отражены в таблице 3.

Анализ пространственного распределения полученных данных показал, что проявляется тенденция к накоплению тяжелых металлов в центральной части города, а также вблизи промышленных зон. В большей степени выявлено накопление поллютантов в почвах на землях категории общего пользования и городской застройки – на территориях, прилегающих к промышленным предприятиям, крупным автодорогам и автогаражам, а также в редких случаях на землях природно-рекреационной зоны (несанкционированные свалки, парк Онежского тракторного завода («Ямка»)) [Новиков, 2015].

Приоритетным загрязнителем почв на территории г. Петрозаводска является свинец. Выявлены высокие концентрации данного элемента относительно ПДК в центральной и западной части города.

В целом по показателю суммарного загрязнения (Zc) почвы на территории г. Петрозаводска имеют низкий уровень загрязнения и относятся к допустимой категории. Умеренно опасная степень загрязнения почвы выявлена лишь на одной пробной площади, заложенной в городском парке «Ямка». Здесь отмечено высокое содержание свинца – 6ПДК, а также повышены относительно ОДК/ПДК концентрации Cu, Ni и Mn. Это связано с тем, что парк обустроен на бывшей территории завода, профильная деятельность которого неоднократно менялась. В конце XVIII века данная площадка

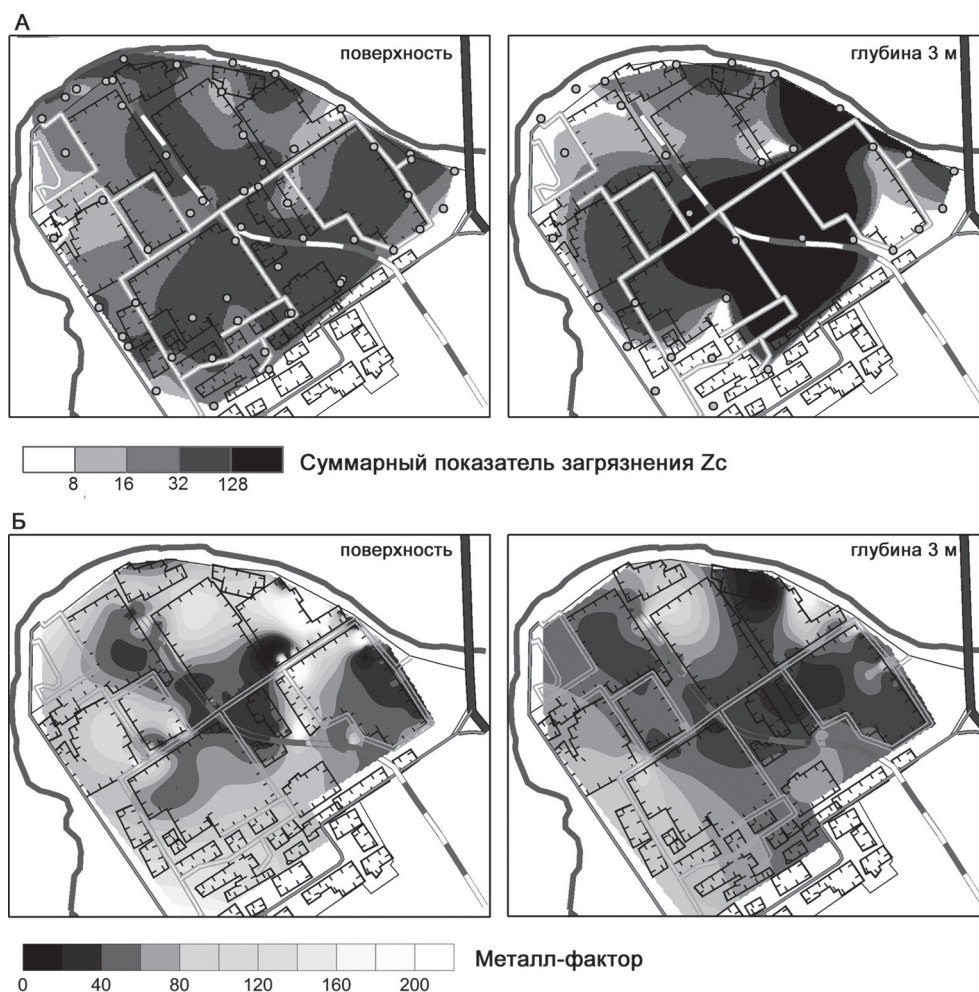


Рис 2. План промышленной площадки в центре г. Петрозаводска: А – распределение суммарного показателя загрязнения Z_c , Б – распределение металл-фактора

использовалась под свалку шлаков [Ициксон, Ландратова, 2009].

В пределах самой промышленной площадки проведено детальное геохимическое изучение грунтов и интерпретация результатов с геофизическими наблюдениями. Грунты здесь представляют собой техногенные образования песчаного и супесчаного состава с включением кирпича, металлической арматуры и прочего мусора. Результаты исследований показали значительные концентрации тяжелых металлов, как по площади, так и по профилю. Особенно высокие значения, относительно местного фона, характерны для Pb, Zn, As, Sb, Cu, Cd. Геофизические исследования позволили получить набор значений УЭС и ВП. В результате проведенных работ выявлено наличие взаимосвязи между геофизическими и геохимическими параметрами, установлено, что электроразведочные методы позволяют определить грунты, служащие аккумуляторами для загрязняющих тяжелых элементов (рис. 2). Установлено, что расположение областей загрязнения

определяется не только непосредственным источником, а также строением среды и процессами, происходящими в ней [Рязанцев, Крутских, 2014].

Данные изучения химического состава почв и грунтов города, полученные методом ICP-MS, в целом согласуются с результатами, определенными методом атомной адсорбции. Факторный анализ выявил основные источники и пути распределения элементов, позволил пространственно определить территории максимального и минимального техногенного загрязнения. Так, фактор 1 представлен группой преимущественно литофильных элементов – Sr, Cs, Ba, Cd, Cr, Tl, U, и его факторная нагрузка составляет 44,4 %. Этот фактор коррелирует с геологическим строением территории и отражает состав почвообразующих пород. Для фактора 2 характерны значительные положительные нагрузки на группу халькофильных элементов: Sb, Pb, Sn, Zn, Cu – 14,0 % суммарной дисперсии. Положительные значения фактора приурочены к центральной жилой части

Таблица 4. Морфометрические показатели главного побега у растений *Dactylis glomerata* L.

Участок	Морфометрические показатели					
	высота побега, см	% к контролю	площадь листа, см ²	% к контролю	длина соцветия, см	% к контролю
Условно-чистый	129,1 ± 3,8	100	9,3 ± 0,5	100	9,6 ± 0,4	100
Вблизи ОТЗ	117,9 ± 2,4	91*	7,4 ± 0,6	80*	10,5 ± 0,8	109
Вблизи завода «Авангард»	104,3 ± 3,3	81*	7,7 ± 0,5	83*	9,4 ± 0,6	98

Примечание. *Различия с контрольным участком достоверны при $p < 0,05$.

города, что в значительной мере связывается с техногенной природой данного фактора. Нагрузка фактора 3 составляет 9,0 %. Этот фактор объединяет такие элементы, как Mo, Ni, Cr. Области с максимальными значениями этого фактора приурочены к трансаккумулятивным ландшафтам. Данный фактор связан как с водной миграцией элементов, так и с составом коренных пород. Таким образом, факторный анализ является инструментом, позволяющим выявлять природные и техногенные ассоциации элементов, что в дальнейшем обуславливает набор исследуемых параметров при геоэкологическом мониторинге.

Травянистые сообщества

Флористический анализ травянистых сообществ выявил, что в целом на всех изученных участках произрастает 52 вида травянистых растений, принадлежащих к 18 семействам. При этом техногенно загрязненные территории характеризовались меньшим числом видов по сравнению с контрольным участком. Так, если на контрольном участке зарегистрировано 33 вида травянистых растений, то на территории вблизи завода «Авангард» – 22 вида, а вблизи ОТЗ – 16 видов. Уменьшение числа видов на загрязненных участках главным образом связано с исчезновением наименее устойчивых из них, в частности, представителей семейств *Polygonaceae* и *Rosaceae*. Наиболее же устойчивыми к загрязнению почв оказались виды семейств *Poaceae* и *Asteraceae*.

Преобладающей жизненной формой в травянистых сообществах на всех обследованных территориях, независимо от степени загрязнения почвы, являются многолетние травы. Лишь на контрольном участке нами был обнаружен один однолетний вид – *Galeopsis bifida* Voenn. (сем. *Lamiaceae*). Из экологических групп в изученных травянистых сообществах преобладают мезофиты и мезотрофы, умеренно требовательные к увлажненности почвы и к ее плодородию.

О степени техногенной нагрузки на территории, расположенной вблизи промышленных

предприятий, можно судить по состоянию отдельных видов растений [Злобин, 1985]. К основным видимым изменениям у растений, произрастающих на таких участках, можно отнести: количественные изменения их морфофизиологических признаков, появление различных деформаций органов, общее снижение продуктивности, изменение окраски листьев в результате хлороза, некроза и других причин, раннее пожелтение и опадение листьев, замедление или ускорение развития растений. На участках вблизи промышленных предприятий техногенная нагрузка не оказывала ярко выраженного негативного влияния на рост и развитие доминирующего вида злаков – *Dactylis glomerata* (табл. 4). Тем не менее на наиболее загрязненных участках уменьшалась высота побега и площадь листовой пластинки подфлагового листа. При этом длина соцветия сохранялась на уровне контрольных растений, что, очевидно, можно рассматривать в качестве компенсаторной реакции, способствующей сохранению семенной продуктивности.

Анализ содержания тяжелых металлов в органах растений *Dactylis glomerata* и *Taraxacum officinale* выявил, что при увеличении степени загрязнения почвы количество тяжелых металлов в корнях и побегах растений в большинстве случаев возрастало. При этом в наибольшей степени увеличивалось содержание кобальта, никеля и свинца. Вместе с тем содержание ряда необходимых элементов, например цинка и молибдена, наоборот, снижалось, что, возможно, связано с антагонистическими взаимоотношениями между металлами. Помимо этого нами были выявлены определенные межвидовые различия в содержании металлов. В частности, в корнях растений *D. glomerata* содержание всех изученных металлов оказалось значительно выше (в 2,5–10 раз), чем в корнях *T. officinale*. Кроме того, обнаружено, что у *D. glomerata* содержание всех металлов в подземных органах превосходило их количество в побегах в 2,5–24 раза в зависимости от металла, что свидетельствует о хорошо выраженной барьерной функции корней. В отличие от этого у *T. officinale* концентрация большинства

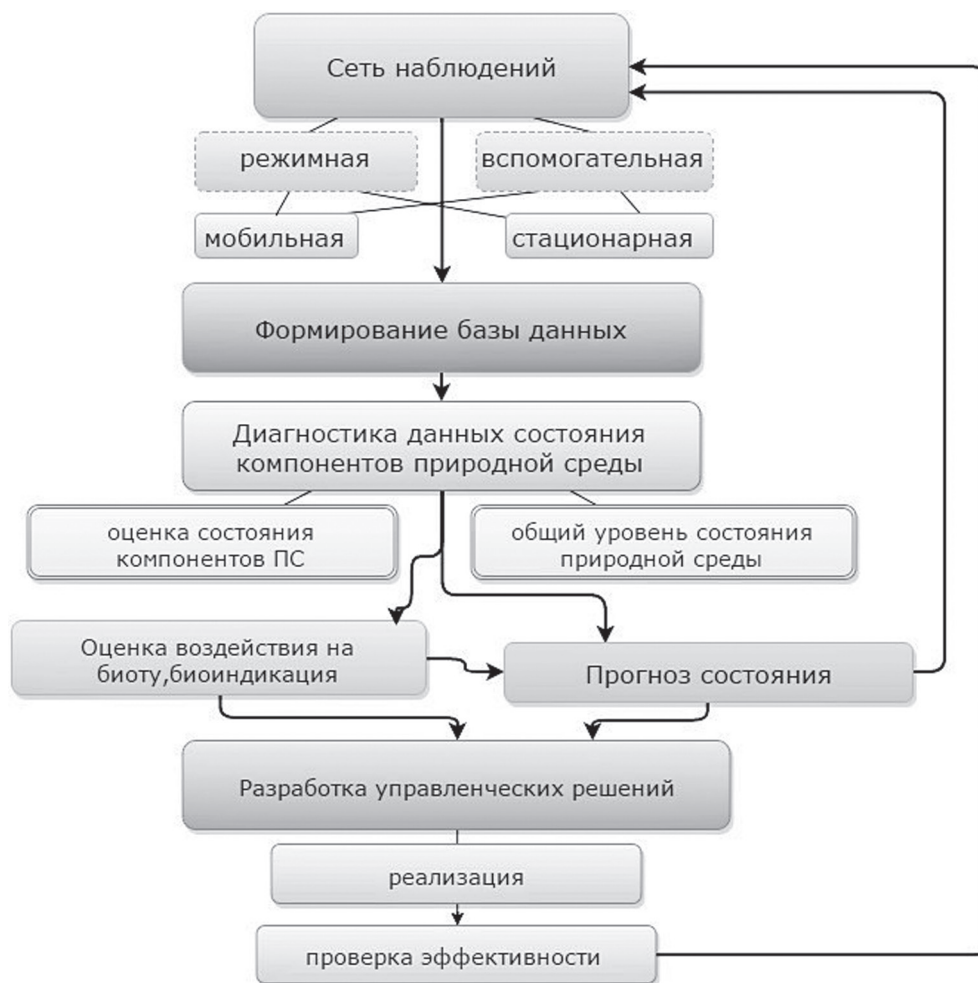


Рис. 3. Блок-схема выполнения мониторинга

изученных элементов в корнях и побегах была практически равной, а количество марганца, цинка и молибдена в надземных органах оказалось даже выше, чем в корнях.

В целом состояние травянистой растительности и отдельных видов растений, произрастающих на загрязненных территориях, может служить индикатором качества окружающей среды, поскольку растения достаточно чутко реагируют на повышение содержания тяжелых металлов в почве и легко поддаются анализу. Вследствие этого оценка состояния травянистых фитоценозов должна быть представлена в геоэкологическом мониторинге как весомый компонент, отражающий трансформацию природной среды.

Организация геоэкологического мониторинга урбанизированных территорий

Учитывая основные пункты государственного экологического мониторинга, опыт крупных

городов, а также проведенное комплексное исследование, разрабатываемая система геоэкологического мониторинга (ГЭМ) г. Петрозаводска должна базироваться на следующих принципиальных подходах и путях их реализации:

1. Комплексный характер наблюдений, охватывающих различные объекты природной среды, применение совокупности методов исследования.
2. Системный подход с выявлением воздействий различных факторов на компоненты природной среды.
3. Постоянное обновление базы данных ГЭМ по информационно-измерительной сети, которая должна охватывать всю совокупность компонентов природной среды города.
4. Создание наблюдательной сети с учетом возможной динамики трансформации состояния компонентов природной среды города.
5. Обработка данных ГЭМ с использованием ГИС-технологий с возможностью получения информации на любой временной срезах.

6. Возможность прогноза состояния компонентов природной среды.

Общая схема мониторинга урбанизированной территории описывается в виде алгоритма, представленного на рисунке 3.

Реализация первых двух принципов ГЭМ г. Петрозаводска предполагает объединение различных подсистем наблюдений, включающих мониторинг атмосферы, почвенного покрова, водных объектов, а также оценку состояния травянистой растительности. С учетом проведенных исследований основные положения системы мониторинга представлены следующим образом.

Мониторинг состояния приземной атмосферы необходимо проводить по нескольким направлениям, включающим определение в атмосферном воздухе концентраций примесей (взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, фенол, формальдегид) на стационарном посту Государственного экологического мониторинга; анализ пространственного распределения загрязнения приземной атмосферы по результатам изучения снежного покрова. Режимные наблюдения рекомендуется проводить 1 раз в год, в конце зимы, по методикам, описанным в работе.

Мониторинг почв, в том числе контроль содержания тяжелых металлов, рекомендуется проводить 1 раз в 3 года в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02–84, а на территории детских садов, игровых площадок и в зоне отдыха городского населения – не реже 1 раза в 2 года. Особое внимание рекомендуется уделить контролю за содержанием тяжелых металлов в почвах на территории бывшего Онежского тракторного завода, где в настоящее время идет активная застройка жилыми домами, а также на территории улицы Ригачина вблизи промышленной зоны, где выявлены высокие концентрации свинца (до 14 ПДК).

В связи с тем, что большинство городских почв Петрозаводска значительно отличаются по морфологическим и физико-химическим характеристикам от естественных почв региона, рекомендуется проводить наблюдение за изменением этих показателей с периодичностью 1 раз в 10 лет с целью выявления неблагоприятных для живых организмов изменений (в парковых и лесопарковых зонах). Также в проведение мониторинга городских почв необходимо включить исследования структурно-функциональной организации микробиоценоза почв, как одного из важнейших показателей их экологического состояния.

Основными исследуемыми компонентами являются: тяжелые металлы различных классов

опасности (Pb, Zn, Sb, Sn, Cu, Cr, Ni, Cd, Hg), мышьяк (As), нефтепродукты, показатель pH.

Для территорий, находящихся в зоне риска загрязнения почв и грунтов нефтепродуктами, требуется проведение геофизических работ с применением методики покартовой электротомографии.

Мониторинг подземных вод необходимо проводить в среднем не менее 1 раза в год, однако периодичность измерений может изменяться в зависимости от смены геоэкологических условий в пределах областей питания подземных вод. Для проведения мониторинга требуется включение в перечень контролируемых показателей не только нормируемых компонентов, но и главных компонентов химического состава воды, поскольку именно макрокомпонентный состав определяет принадлежность воды к тому или иному гидрохимическому типу и имеет существенное значение для оценки происхождения воды и степени трансформации ее состава. Основными пунктами наблюдения являются родники и колодцы в пределах городской территории.

Оценка степени техногенного загрязнения территорий на основе изучения *состояния травянистой растительности* включает в себя флористический анализ территорий, морфометрическое изучение доминирующих в фитоценозах видов растений, анализ содержания тяжелых металлов в органах растений. Сравнение результатов с условно чистым участком позволяет оценить степень трансформации исследуемых территорий. При этом в качестве индикаторов могут служить такие показатели, как количество видов и их проективное покрытие, доля представителей семейств *Poaceae* и *Asteraceae*, а также высота побега и размер листовой пластинки у доминирующих видов злаков. Наблюдения необходимо проводить ежегодно на одних и тех же участках.

Выделенные подсистемы мониторинга являются обязательным минимумом и основным начальным «стержнем» в общей системе геоэкологического мониторинга города. В дальнейшем целесообразно формирование ГИС мониторинга города и добавление в общую систему дополнительных модулей, например таких, как мониторинг экзогенных процессов, мониторинг здоровья населения и т. д. Для эффективного контроля над состоянием окружающей среды необходимо внедрение схем *геоэкологического менеджмента* в общую систему управления города. Под территориальным геоэкологическим менеджментом понимается система управления геоэкологическими,

а также социально-экономическими показателями в пределах определенной геоэкологической системы. Разработка основных схем управления по стадиям территориального геоэкологического менеджмента, так же как для любых систем управления, основывается на схеме, выраженной в повторении циклов: план – действие – проверка – корректировка [Крутских, 2015]. Мониторинговые исследования в данной схеме закрепляются на этапе «проверка» и должны быть обеспечены целевой программой, ведущей к различным корректирующим мероприятиям.

Заключение

На основании комплексного исследования сформулирована общая концепция проведения геоэкологического мониторинга г. Петрозаводска, включающая мониторинг атмосферы, почвенного покрова, водных объектов, а также оценку состояния травянистых сообществ, расположенных на техногенно загрязненных территориях. Определены основные параметры и критерии различных подсистем мониторинга. Геоэкологический мониторинг является значимым звеном территориального геоэкологического менеджмента на урбанизированных территориях и инструментом эффективного контроля над состоянием окружающей среды.

Таким образом, исследования, проведенные в Петрозаводске, выявили разноплановые геоэкологические проблемы в пределах каждого компонента природной среды, формирующие определенные свойства геоэкологической системы города. Этот факт обуславливает и диктует необходимость совместного комплексного мониторинга всех компонентов городской среды.

Работа осуществлялась при поддержке гранта РФФИ 13-05-98817, а также средств федерального бюджета на выполнение государственного задания по темам №№ 0222-214-0008, 0221-2014-0002, 0220-2014-0006, 01-2013-57011.

Литература

Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.

Ахметова Г. В., Новиков С. Г. Загрязнение свинцом почв различных категорий землепользования на территории города Петрозаводска // *Современные проблемы науки и образования.* 2014. № 1. URL: <http://www.science-education.ru/115-12194> (дата обращения: 26.02.2014).

Бородулина Г. С. Качество грунтовых вод на территории г. Петрозаводска // *Экологическая*

геология: теория, практика и региональные проблемы: мат. Четвертой научно-практической конференции (Петрозаводск, 30.09–2.10.2015). Воронеж: Научная книга, 2015. С. 18–20.

Бородулина Г. С. Качество подземных вод // *Водные ресурсы Республики Карелия и пути их использования для питьевого водоснабжения. Опыт карельско-финляндского сотрудничества.* Петрозаводск; Куопио: КарНЦ РАН, 2006. С. 127–139.

Бримблум П. Состав и химия атмосферы. М.: Мир, 1988. 352 с.

Водяницкий Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. 164 с.

Водяницкий Ю. Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // *Почвоведение.* 2010. № 10. С. 1276–1280.

Горышина Т. К. Экология растений. М.: Высшая школа, 1979. 368 с.

Злобин Ю. А. О некоторых параметрах для оценки реакции ценопопуляций на влияние антропогенных факторов // *Антропогенные процессы в растительности.* Уфа, 1985. С. 89–101.

Израэль Ю. А., Назаров И. М., Прессман А. Я. и др. Кислотные дожди. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 206 с.

Ицксон Е. Е., Лантратова А. С. Парк Онежского тракторного завода в г. Петрозаводске // *Карелия: энциклопедия: в 3 т. / Под ред. А. Ф. Титова.* Петрозаводск: ПетроПресс, 2009. Т. 2. 346 с.

Крайнов С. Р., Соломин Г. А., Закутин В. П. Окислительно-восстановительные условия трансформаций соединений азота в подземных водах (в связи с решением геохимико-экологических проблем) // *Геохимия.* 1991. № 6. С. 882–831.

Крутских Н. В. Геоэкологический менеджмент урбанизированных территорий: новые подходы и перспективы // *Экология урбанизированных территорий.* М.: Камертон, 2015. Вып. 4. С. 84–89.

Лозовик П. А., Потапова И. Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территории Карелии // *Водные ресурсы.* 2006. Т. 33, № 1. С. 111–118.

Лозовик П. А., Бородулина Г. С. Соединения азота в поверхностных и подземных водах Карелии // *Водные ресурсы.* 2009. Т. 36, № 6. С. 694–704.

Методические указания по оценке городских почв при разработке градостроительной и архитектурно-строительной документации. Изд. второе, доп. М.: НИИПИ ЭГ, 2003. 43 с.

Морозова Р. М. Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. 184 с.

Новиков С. Г. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв различных категорий землепользования на территории города Петрозаводска // *Труды КарНЦ РАН.* 2015. № 1. С. 78–85.

Рязанцев П. А., Крутских Н. В. Возможности комплексирования геохимических и геофизических методов при эколого-геологических исследованиях техногенно нагруженных территорий // *Геодинамика и экология Баренц-региона в XXI в.; материалы всероссийской конференции с международным участием.* Архангельск, 2014. С. 235–238.

Сает Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

Светов С. А., Степанова А. В., Чаженина С. Ю. и др. Прецизионный (ICP-MS, LA-ICP-MS) анализ состава горных пород и минералов: методика и оценка точности результатов на примере раннедокембрийских мафитовых комплексов // Труды КарНЦ РАН. 2015. № 7. С. 54–73. doi: 10.17076/geo140

Стурман В. И. Экологическое картографирование. М.: Аспект Пресс, 2003. 251 с.

Тяжелые металлы в почвах Карелии / Ред. Г. В. Ахметова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. 222 с.

Федорец Н. Г., Медведева М. В. Эколого-микробиологическая оценка состояния почв города Петрозаводска. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. 96 с.

Федорец Н. Г., Бахмет О. Н., Солодовников А. Н., Морозов А. К. Почвы Карелии: геохимический атлас / Ин-т леса КарНЦ РАН. М.: Наука, 2008. 47 с.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. СПб.: Мир и семья, 1995. 990 с.

Dahlin T., Rosqvist H., Leroux V. Resistivity-IP mapping for landfill applications // First Break. 2010. Vol. 28. P. 101–105.

Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical geography. Oxford, 1934. 632 p.

Vaudelet P., Schmutz M., Pessel M. et al. Mapping of contaminant plumes with geoelectrical methods. A case study in urban context // Journal of Applied Geophysics. 2011. Vol. 75. P. 738–751.

Поступила в редакцию 15.04.2016

References

Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv [Agrochemical methods of soil research]. Moscow: Nauka, 1975. 656 p.

Ahmetova G. V., Novikov S. G. Zagryaznenie svincom pochv razlichnyh kategoriy zemlepol'zovaniya na territorii goroda Petrozavodsk [Lead contamination in the soils of different land use types in Petrozavodsk]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014. No. 1. URL: <http://www.science-education.ru/115-12194> (accessed: 26.02.2014).

Borodulina G. S. Kachestvo gruntovykh vod na territorii Petrozavodsk [Groundwater quality in Petrozavodsk]. *Ekologicheskaya geologiya: teoriya, praktika i regionalnye problemy* [Environmental Geology: Theory, Practices, and Regional Problems]. Mat. 4 nauchno-prakticheskoy konferentsii [Proceed. of the 4th Research and Practice Conf.] (Petrozavodsk, September 30 – October 2, 2015). Voronezh: Naychnaya kniga, 2015. P. 18–20.

Borodulina G. S. Kachestvo podzemnykh vod [Groundwater quality]. *Vodnye resursy Respubliki Kareliya i puti ih ispolzovaniya dlia pitevogo vodosnabzheniya. Opyt karelsko-finliandskogo sotrudnichestva* [Water Resources of the Republic of Karelia and Ways of their Use for Drinking Water Supply. An Experience of Karelian-Finnish Cooperation]. Petrozavodsk; Kuopio: KarRC of RAS, 2006. P. 127–139.

Brimbkumb P. Sostav i himiia atmosfery [Composition and chemistry of the atmosphere]. Moscow: Mir, 1988. 352 p.

Cherepanov S. K. Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv [Vascular plants of Russia and neighboring countries]. St. Petersburg: Mir i semya, 1995. 990 p.

Fedoretz N. G., Medvedev M. V. Ekologo-mikrobiologicheskaya otsenka sostoyaniya pochv goroda Petrozavodsk [Ecological and microbiological assessment of the soils in Petrozavodsk]. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2005. 96 p.

Fedoretz N. G., Bahmet O. N., Solodovnikov A. N., Morozov A. K. Pochvy Karelii: geohimicheskiy atlas

[Soils of Karelia: geochemical atlas]. Moscow: Nauka, 2008. 47 p.

Goryshina T. K. *Ekologiya rasteniy* [Plant ecology]. Moscow: Vysshaya shkola, 1979. 368 p.

Ikikson E. E., Lantratova A. S. Park Onezhskogo traktornogo zavoda v g. Petrozavodsk [Park of the Omega Tractor Plant in the city of Petrozavodsk]. Kareliya: ehnciklopediya. Ed. A. F. Titov. Petrozavodsk: PetroPress, 2009. Vol. 2. 346 p.

Izrael Y. A., Nazarov I. M., Filippov L. M. et al. Kislotnye dozhdii [Acid rain]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 206 p.

Kraynov S. R., Solomin G. A., Zakutin V. P. Okislitel'no-vosstanovitel'nye usloviya transformatsii soedineniy azota v podzemnykh vodakh (v svyazi s resheniem geohimiko-ehkologicheskikh problem) [Redox conditions of nitrogen compounds transformation in the groundwater (in the context of dealing with geochemical and environmental problems)]. *Geokhimiya* [Geochemistry]. 1991. No. 6. P. 822–831.

Krutsikh N. V. Geoekologicheskii menedzhment urbanizirovannykh territoriy: novye podhody i perspektivy [Geoecological management of urban lands: new approaches and prospects]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of Urban Lands]. Moscow: Camerton, 2015. Vol. 4. P. 84–89.

Lozovik P. A., Potapova I. Yu. Postuplenie himicheskikh veshchestv s atmosferyimi osadkami na territorii Karelii [Chemical substances input with atmospheric precipitation in Karelia]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2006. Vol. 33, no. 1. P. 111–118.

Lozovik P. A., Borodulina G. S. Soedineniya azota v poverhnostnykh i podzemnykh vodakh Karelii [Nitrogen compounds in the surface and underground waters of Karelia]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2009. Vol. 36, no. 6. P. 694–704.

Metodicheskie ukazaniya po ocenke gorodskikh pochv pri razrabotke gradostroitel'noy i arhitekturno-stroitel'noy dokumentatsii, izdanie vtroe, dopolnennoe [Guidelines for urban soils assessment for development of urban planning, architectural and construction documents. 2nd edition, enlarged]. Moscow: NIIPI EG, 2003. 43 p.

Morozova R. M. Lesnye pochvy Karelii [Forest soils in Karelia]. Leningrad: Nauka, 1991. 184 p.

Novikov S. G. Ocenka zagryazneniya tyazhelymi metallami pochv razlichnykh kategoriy zemlepol'zovaniya na territorii pochv Petrozavodsk [Assessment of heavy metal contamination in soils of different land use types in Petrozavodsk]. *Trudy KarNC RAN* [Trans. of KarRC of RAS]. 2015. No. 1. P. 78–85.

Ryazancev P. A., Krutskih N. V. Vozmozhnosti kompleksirovaniya geohimicheskikh i geofizicheskikh metodov pri ehkologo-geologicheskikh issledovaniyakh tekhnogenno-nagruzhennykh territoriy [Possible integration of geochemical and geophysical methods in ecological and geological studies of technogenically loaded territories]. *Geodinamika i ehkologiya Barents-regiona v XXI v.* [Geodynamics and Environment of the Barents Region in the XXI century]. Materialy vserossiyskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem [Proceed. of the Conf. with Int. Participation]. Arkhangel'sk, 2014. P. 235–238.

Saet Yu. E., Revich B. A., Yanin E. P. et al. Geohimiya okruzhayushchey sredy [Environmental geochemistry]. Moscow: Nedra, 1990. 319 p.

Svetov S. A., Stepanova A. V., Chazhengina S. Yu., Svetova E. N., Rybnikova Z. P., Mihajlova A. I., Paramonov A. S., Uticyna V. L., Jehova M. V., Kolodej V. S. Precizionnyy (ICP-MS, LA-ICP-MS) analiz sostava gornyh porod i mineralov: metodika i ocenka tochnosti rezul'tatov na primere rannedokembriyskikh mafitovykh kompleksov [Precision geochemical (ICP-MS, LA-ICP-MS) analysis of rock and mineral composition: the method and accuracy estimation in the case study of the Early Precambrian mafic complexes]. *Trudy KarNC RAN* [Trans. of KarRC of RAS]. 2015. No. 7. P. 54–73. doi: 10.17076/geo140

Sturman V. I. Ekologicheskoe kartografirovanie [Ecological mapping]. Moscow: Aspekt Press, 2003. 251 p.

Tyazhelye metally v pochvah Karelii [Heavy metals in the soils of Karelia]. Ed. G. V. Akhmetova. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2015. 222 p.

Vodyanickiy U. N. Tyazhelye metally i metalloidy v pochvah [Heavy metals and metalloids in soils]. Moscow: Pochvennyi in-t im. V. V. Dokuchaeva, 2008. 164 p.

Vodyanickiy U. N. Formuly ocenki summarnogo zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami i metalloidami [Assessment formula of total soils pollution with heavy metals and metalloids]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science]. 2010. No. 10. P. 1276–1280.

Zlobin Y. A. O nekotorykh parametrokh dlya ocenki reakcii cenopopulyaciy na vliyanie antropogennykh faktorov [On some parameters to assess cenopopulations response to human impact]. *Antropogennyye processy v rastitel'nosti* [Man-induced Processes in Plants]. Ufa, 1985. P. 89–101.

Dahlin T., Rosqvist H., Leroux V. Resistivity-IP mapping for landfill applications. *First Break*. 2010. Vol. 28. P. 101–105.

Raunkiaer C. The life forms of plants and statistical geography. Oxford, 1934. 632 p.

Vaudelet P., Schmutz M., Pessel M., Franceschi M., Guerin R., Atteia O., Blondel A., Ngomseu C., Galaup S., Rejiba F., Begassat P. Mapping of contaminant plumes with geoelectrical methods. A case study in urban context. *Journal of Applied Geophysics*. 2011. Vol. 75. P. 738–751.

Received April 15, 2016

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Крутских Наталья Владимировна

старший научный сотрудник, к. г. н.
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: natkrut@gmail.com
тел.: (8142) 769824

Бородулина Галина Сергеевна

старший научный сотрудник, к. г.-м. н., доцент
Институт водных проблем Севера Карельского научного
центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: bor6805@yandex.ru

Казнина Наталья Мстиславовна

старший научный сотрудник, д. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: kaznina@krc.karelia.ru

CONTRIBUTORS:

Krutskikh, Natalia

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: natkrut@gmail.com
tel.: (8142) 769824

Borodulina, Galina

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: bor6805@yandex.ru

Kaznina, Natalia

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: kaznina@krc.karelia.ru

Батова Юлия Валерьевна

старший научный сотрудник, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: batova@krc.karelia.ru

Рязанцев Павел Александрович

младший научный сотрудник, к. г.-м. н.
Институт геологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: chthonian@yandex.ru тел

Ахметова Гульнара Вялитовна

научный сотрудник, к. б. н.
Институт леса Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: akhmetova@krc.karelia.ru

Новиков Сергей Геннадьевич

научный сотрудник, к. б. н.
Институт леса Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: novikovsergey.nsg@gmail.com

Кравченко (Потапова) Ирина Юрьевна

научный сотрудник
Институт водных проблем Севера Карельского научного
центра РАН
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: irina_potapova@inbox.ru

Batova, Yulia

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: batova@krc.karelia.ru

Ryazantsev, Pavel

Institute of Geology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: chthonian@yandex.ru

Akhmetova, Gulnara

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: akhmetova@krc.karelia.ru

Novikov, Sergey

Forest Research Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: novikovsergey.nsg@gmail.com

Kravchenko, Irina

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 A. Nevsky St., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: irina_potapova@inbox.ru