

## ПОЧВЕННЫЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА ТЕРРИТОРИИ МУЗЕЯ-ЗАПОВЕДНИКА «КИЖИ»

*Г.В. Ахметова*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук,  
Россия, 185910, г. Петрозаводск, ул. Пушкинская, д. 11; [akhmetova@krc.karelia.ru](mailto:akhmetova@krc.karelia.ru)

**Резюме.** Представлены результаты почвенного экологического мониторинга музея-заповедника «Кижы», который проводится с периодичностью в 5-6 лет начиная с 1999 г. Полученная информация о педохимических свойствах (кислотность, содержание гумуса и азота, емкость катионного обмена) свидетельствует о том, что почвы острова характеризуются, по сравнению с фоновыми почвами региона, относительно высоким уровнем плодородия и повышенной буферной способностью. Проведены исследования загрязнения почв острова тяжелыми металлами. Выявлено, что уровень их содержания в изучаемых почвах, относительно фоновых региональных значений, повышенный, что связано с особенностями почвообразующих пород (шунгитовой мореной и сланцами). Основываясь на данных, полученных за четыре этапа мониторинга, была выявлена тенденции к уменьшению содержания в почвах острова свинца. С другой стороны, отмечается слабая тенденция увеличения концентрации меди и никеля.

**Ключевые слова.** Остров Кижы, мониторинговые исследования, почва, буферные свойства почв, тяжелые металлы, загрязнение.

## ECOLOGICAL MONITORING OF SOILS IN THE «KIZHI» MUSEUM-RESERVE

*G. V. Akhmetova*

Forest Research Institute of Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences,  
11 Pushkinskaya St., 185910, Petrozavodsk, Karelia, Russia, [akhmetova@krc.karelia.ru](mailto:akhmetova@krc.karelia.ru)

**Abstract.** The results of ecological monitoring of soils in the Kizhi open-air museum and nature reserve carried out every 5-6 years since 1999 are reported. The findings concerning the chemical properties of the island's soils (acidity, carbon and nitrogen content, cation exchange capacity) indicate that compared to the regional background these soils are noted for relatively high fertility and buffering capacity. These distinctions of the soils stem from the island's unique natural conditions. Soils of the island were surveyed for heavy metals. Their levels in these soils proved to be elevated compared to the regional background, as dictated by

---

parent rocks (shungitic moraine and schists). Analysis of the data from four monitoring stages revealed a downward tendency in the levels of such heavy metal as lead. On the other hand, there is a slight upward trend in copper and nickel concentrations.

**Keywords.** Kizhi Island, monitoring surveys, soil, soil buffering, heavy metals, pollution.

## Введение

Организация и проведение экологического мониторинга в соответствии со ст. 7 Федерального закона Российской Федерации от 14 марта 1995 года № 33-ФЗ “Об особо охраняемых природных территориях” является одной из основных задач особо охраняемых территорий высокого ранга. Музеи-заповедники являются особым видом охраняемых территорий, которые призваны сохранять как природное, так и историко-культурное наследие страны. В связи с чем, на фоне повышения внимания к проблеме охраны окружающей среды и сохранения биоразнообразия, была разработана и, начиная с 1994 года, реализована «Программа организации комплексного мониторинга природной среды музея-заповедника «Кижы» (Организация..., 1994).

Мониторинговые исследования природной среды проводятся музеем-заповедником «Кижы» в целях изучения природных ресурсов района, выработки программ их рационального использования, контроля загрязнения окружающей среды и выработки научно обоснованных управленческих решений по охране природы (Бюллетень..., 2016). На основе данных мониторинга издаются бюллетень, буклеты и информационные материалы для экскурсоводов, сотрудников музея, местных жителей и посетителей о. Кижы.

Почвенные исследования на данной территории имеют давнюю историю, начиная с 1974 года (Путеводитель..., 1974), однако в качестве составной части комплексного экологического мониторинга первый этап почвенного экологического мониторинга был осуществлен в 1999 г.

Почвенно-экологический мониторинг представляет собой систему регулярного неограниченного в пространстве и времени контроля почв, который дает информацию об их состоянии с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза его изменения в будущем (Мотузова, Безуглова, 2007). Как объект мониторинга почва представляет особый интерес, так как является наиболее объективным и стабильным индикатором техногенного загрязнения экосистемы. Почва способна геохимически аккумулировать компоненты загрязнений и выступает в качестве природного буфера, контролирующего перенос химических элементов и соединений в экосистеме (Мотузова, 1999). Последствия антропогенного воздействия (например, загрязнения химическими веществами) в почве обычно проявляются позже, чем в других природных объектах, но они более устойчивы и сохраняются дольше. Приоритетными загрязняющими веществами, наблюдение за которыми обязательно включают в программу проведения мониторинга, являются тяжелые металлы (Израэль, 1984; Громов, Парамонов, 2015), которые оказывают негативное воздействие

на плодородие почв и биоресурсный потенциал лесных и сельскохозяйственных угодий (Орлов и др., 2002; Adriano, 2001).

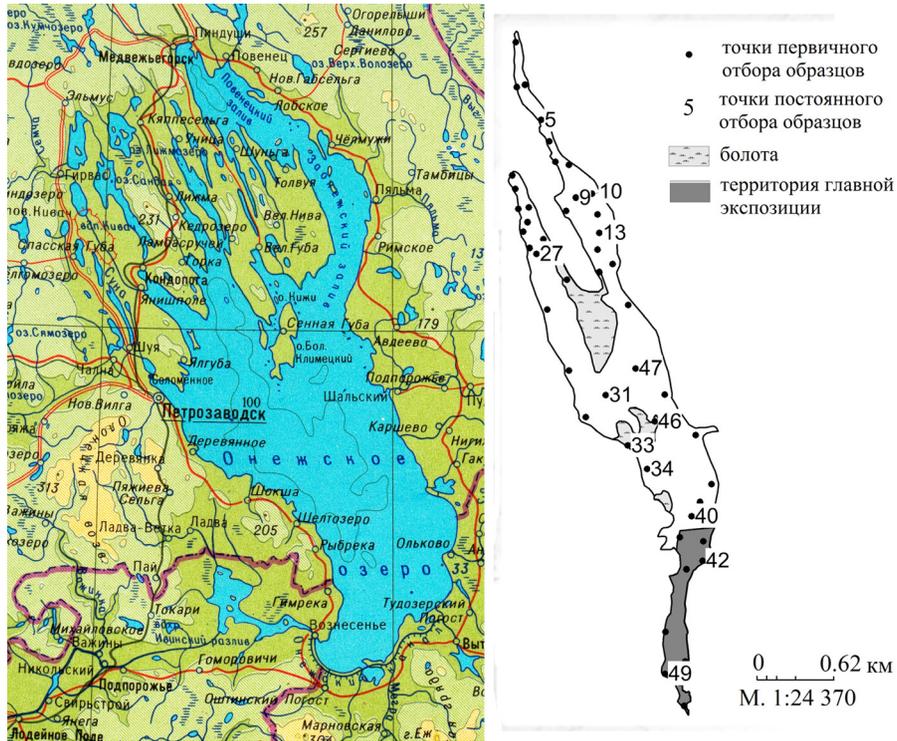
**Целью** данного исследования являлась оценка экологического состояния почв территории музея-заповедника «Кижь».

В процессе выполнения работ были выполнены следующие задачи:

- определение педохимических показателей почвы: кислотность, содержание общего азота, емкость обменного поглощения,
- оценка буферной способности почв острова к химическому загрязнению,
- определение уровня содержания тяжелых металлов в почвах о. Кижь,
- выявление зон с повышенной концентрацией тяжелых металлов,
- анализ изменений, произошедших за период наблюдений (1999-2016 гг.).

### Материалы и методы

Музей-заповедник «Кижь» – один из известнейших в России музеев под открытым небом. Остров Кижь расположен в северной части акватории Онежского озера (рис.1) и приурочен к своеобразному участку котловины – шхерному типу береговой линии.



В настоящее время территория острова испытывает значительную рекреационную нагрузку, так как расположенный здесь музей-заповедник является самым популярным туристическим направлением на территории республики Карелия. Остров имеет давнюю историю освоения (с XI века), его территория была полностью распахана и в настоящее время большая часть его отведена под луга.

Рельеф острова отличается большим своеобразием, разные части его отличаются по относительному высотному положению вершинных поверхностей, морфологии и происхождению отдельных форм рельефа. Основу острова составляет сложная флювиогляциальная система, состоящая из озовой гряды и дельт, и причлененная с боков к этой системе серия аккумулятивных и абразионных озерных террас (рис. 2).



Рисунок 2. Геоморфологическое строение о. Кижь (Лукашов, 1999)

В настоящее время доминирующим типом растительности на острове является луговые сообщества (крупнозлаково-разнотравные и крупнозлаково-бобово-разнотравные), они занимают более половины его площади. Остальная часть острова занята болотами, прибрежными древесно-кустарничковыми сообществами и фрагментами лесной растительности (Знаменский, 1999).

По почвенно-географическому районированию исследуемая территория относится к ареалу распространения подзолов и подзолистых почв. Однако, на острове из-за распространения уникальных почвообразующих пород, содержащие шунгитовые материалы и минералы основного химического состава, почвенный покров представлен буроземами типичными и шунгитовыми сильнокаменистыми, сформированными на моренных и флювиогляциальных отложениях с большим содержанием шунгитов, диабазов и габбро-долеритов. Болотные почвы занимают небольшую площадь в понижениях в разных частях острова (Путеводитель..., 1974).

Первичное обследование почв острова Кижы на содержание тяжелых металлов было проведено в 1999 году, следующие этапы проведены в 2005, 2011 и 2016 гг., т. е. периодичность проведения мониторинга составляет 5-6 лет.

На первом этапе проведения мониторинговых исследований на территории острова по нерегулярной сетке были заложено 49 пробных площадей (рис.1). Были отбораны образцы из дернового (Ad) и гумусово-аккумулятивного (A1) горизонтов почв для определения содержания в них тяжелых металлов (кадмий, свинец, медь, цинк, кобальт, никель, хром, марганец). Для характеристики морфологических, физико-химических свойств почв острова было заложено 5 основных полнопрофильных почвенных разрезов.

В последующие этапы мониторинга отбор почвенных образцов проводился в 13 точках, на рисунке это точки №№ 5, 10, 13, 27, 31, 34, 40, 46, 47, 49 (минеральные почвы) и №№ 9, 33, 42 (торфяные почвы), в которых, по результатам первого этапа исследований, были выявлены максимальные и минимальные уровни концентрации тяжелых металлов. Отбор проб снега осуществляли на пробных площадках размером 10x10 м методом конверта (ГОСТ 17.4.4.02-84).

Лабораторные анализы были выполнены в аналитической лаборатории и лаборатории лесного почвоведения Института леса КарНЦ РАН. Почвенные образцы просеивались, и для анализа отбиралась фракция мелкозема (<1 мм).

Проводилось определение показателей, характеризующих буферные свойства почв, по общепринятым методикам (Аринушкина, 1970):

- кислотнo-щелочные свойства потенциометрическим методом;
- содержание органического вещества (гумуса) методом Тюринга;
- содержание общего азота методом Кьельдаля;
- емкость обменного поглощения методом Бобко-Аскинази-Алешина в модификации ЦИНАО.

Определение тяжелых металлов (ТМ) в образцах почв проводилось методом атомно-адсорбционной спектрофотометрии. В связи с изменениями методик и лабораторного оборудования в 1999 и 2016 г. применялись более жесткие условия разложения проб (высокие температура и давление), по сравнению с методиками 2005 и 2011 годов. Данный метод позволяет получить более полное разрушение кристаллической решетки минералов и высвобождение химических элементов, особенно цинка.

Полученные данные всех анализов (кроме pH) были пересчитаны на коэффициент гигроскопии.

---

## Результаты

Исследуемые почвы острова характеризуются укороченным профилем и слабой дифференциацией его на генетические горизонты, преимущественно темно-серого или серо-черного цвета. Почвы сильнокаменистые, тем не менее, отмечается их хорошая комковато-зернистая структура. Данные результатов исследования педохимических параметров исследуемых почв острова представлены в таблице (табл.1).

**Таблица 1. Физико-химические показатели почв о. Киж**

Горизонт	Мощность горизонта, см	pH KCl	Гумус, %	N, %	C:N	ЕКО, смоль(экв) кг <sup>-1</sup> почвы
<b>Разрез № 1. Бурозем типичный вторично-дерновый суглинистый сильнокаменистый на шунгитовой морене</b>						
Ad	0-1	4.7	7.3	0.43	17	37.1
A1	1-10	3.9	3.4	0.26	13	20.5
A1B	10-20	3.8	1.5	0.16	9	22.4
B1	20-25(40)	4.0	0.8	0.04	14	8.2
BC	>58	4.0	1.0	0.02	59	12.1
<b>Разрез № 2. Бурозем шунгитовый вторично-задернованный суглинистый сильнокаменистый на шунгитовых сланцах</b>						
A1	1-10	4.3	5.6	0.43	13	30.9
A1B	10-18	4.0	3.7	0.20	18	30.8
B1	18-30	4.0	2.9	0.19	15	29.4
BC	>50	4.0	3.0	0.18	16	26.6
<b>Разрез № 3. Бурозем глееватый вторично-дерновый супесчаный на озерных песках</b>						
A1	1-12	3.7	2.2	0.20	11	23.5
A1B	12-30	3.7	1.5	0.11	14	14.2
B1	30-55(56)	4.1	0.8	0.02	40	11.1
BCg	>56	4.3	0.6	0.01	60	13.1
<b>Разрез № 4. Болотная низинно-перегнойная торфяная</b>						
T0	0-20	4.0	23.1	1.98	12	79.7
T1	20-50	4.3	16.8	1.54	10.9	85.0
<b>Разрез № 5. Бурозем типичный вторично-дерновый суглинистый сильнокаменистый</b>						
A1	0-14	4.3	2.8	0.38	8	28.9
B1	14-30	3.9	3.1	0.26	12	24.6
B3	45-60	4.2	0.9	0.04	23	12.1
BC2	80 и ниже	4.3	0.9	0.01	90	10.1

Почвы острова имеют кислую реакцию, рН солевой вытяжки находится в диапазоне от 3.9 до 4.7. Кислотность по профилю изменяется слабо, отмечается тенденция небольшого увеличения показателя в нижних горизонтах. Задернованная подстилка Ad отличается более низкой кислотностью – 4.7.

Содержание органического вещества достигает 6-7% в верхних горизонтах изучаемых почв, вниз по профилю его количество постепенно снижается до 1%. Бурозем шунгитовый вторично-задернованный (разрез № 2) отличается самыми высокими значениями содержания органического вещества – от 5.6 в верхних горизонтах до 3% в нижних. Самая бедная органическим веществом почва, сформированная на озерных песках, – бурозем глееватый вторично-дерновый супесчаный (разрез № 3). В торфяной низинной почве (разрез № 4) органическое вещество содержится на уровне 20%.

Количество валового азота в исследуемых почвах в среднем составляет 0.2-0.3%, наибольшие его величины отмечаются в верхних горизонтах – до 0.4-0.5%. Вниз по профилю содержание азота снижается до 0.01-0.02%. В торфяной низинной почве (разрез 4) концентрация валового азота достигает 1.5-2%.

Емкость катионного обмена (ЕКО) в исследуемых почвах составляет примерно 20-30 смоль(экв)кг<sup>-1</sup> почвы в верхних горизонтах и 10 смоль(экв)кг<sup>-1</sup> почвы в нижних. В буроземе шунгитовом вторично-задернованном (разрез № 2) этот показатель достигает достаточно высоких значений – 27-31 смоль(экв)кг<sup>-1</sup> почвы, а в буроземе глееватом вторично-дерновом супесчаном (разрез № 3) выявлены самые низкими значения ЕКО – 11-14 смоль(экв)кг<sup>-1</sup> почвы. Торфяные низинные почвы отличаются самыми высокими значениями ЕКО – более 70 смоль(экв) кг<sup>-1</sup> почвы.

Результаты изменения содержания тяжелых металлов в почвах острова Кизи на разных этапах мониторинга представлены в таблице (табл. 2).

**Таблица 2.** Средние значения содержания тяжелых металлов в верхних горизонтах минеральных и торфяных почвах о. Кизи, мг кг<sup>-1</sup>

Горизонт	Год	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	Co	Cr
<b>Буроземы</b>								
Ad	1999	-	15.9±4.7 <sup>1</sup>	57.0±15.0	197.5±70.0	32.5±16.0	-	25.0±5.7
	2005	-	14.6±5.4	73.7±42.3	33.4±2.6	49.1±27.4	11.0±2.3	48.0±12.3
	2011	0.42±0.27	16.6±6.7	53.6±33.0	48.0±5.3	43.1±25.5	10.2±5.9	26.1±10.2
	2016	0.46±0.23	12.5±4.7	76.0±67.7	189.1±88.7	57.2±22.2	13.0±5.0	41.9±12.5
Al	1999	-	17.7±4.2	42.7±20.2	197.5±58.0	32.5±11.0	-	30.0±4.5
	2005	-	14.1±7.2	86.8±50.1	32.3±3.7	69±24.3	14.0±6.7	33.7±13.9
	2011	0.36±0.31	19.7±6.4	59.6±37.6	44.6±6.6	46.9±28.1	10.4±5.3	26.4±10.3
	2016	0.44±0.17	15.5±3.3	80.3±63.3	211.3±92.5	65.9±28.7	13.4±4.5	43.4±9.6

Продолжение таблицы 2

Торфяные почвы								
Т0	1999	-	18.8±6.6	32.1±14.0	104.5±49.6	24.0±16.0	-	34.5±21.0
	2005	-	23±1.1	50.7±8.3	59.7±0.6	69.1±25.0	12.3±0.4	35.6±10.2
	2011	0.69±0.20	16.3±1.6	53.5±11.2	45.1±2.8	55.0±14.3	11.8±3.3	34.4±6.3
	2016	0.82±0.20	11.2±5.1	50.0±34.1	154.7±102.0	38.6±27.3	7.4±2.5	20.0±9.8
Т1	1999	-	16.2±3.8	20.4±4.0	77.4±21.8	16.0±3.6	-	34.2±12.3
	2005	-	17.7±2.9	72.2±13.0	60.3±1.0	80.8±9.3	21.0±5.3	52.0±10.6
	2011	0.3±0.24	13.8±5.5	62.6±12.5	44.2±2.0	62.2±16.5	13.3±3.4	33.3±5.0
	2016	0.48±0.20	12.5±3.8	37.3±8.9	135.6±103.0	37.9±15.6	6.7±0.7	30.0±10.6

**Примечание:** <sup>1</sup> среднее арифметическое ± стандартное отклонение

В связи с тем, что остров отличается неоднородным геоморфологическим строением, почвенным и растительным покровом, содержание тяжелых металлов в почвах острова в пространственном отношении неравномерное. Также на это может оказывать и разнообразное антропогенное воздействие (пашни, луга, рекреационная территория), однако это влияние проявляется неявно. Диапазон разброса данных содержания ТМ в почвах острова довольно широкий. Выявлено, что почвы, развитые на шунгитовых флювиогляциальных отложениях, занимающих озовые гряды и дельты, отличаются более высокими уровнями содержания тяжелых металлов, чем буроземы, развитые на мореных отложениях, которые менее обогащены шунгитсодержащими породами.

## Дискуссия

При исследовании кислотных свойств почв острова таких процессов как закисление и подщелачивание, часто возникающих из-за антропогенного воздействия (Муравьев и др., 2008), выявлено не было. В экологических исследованиях выявление уровня кислотности почв является необходимым также из-за того, что этот показатель служит важным индикатором происходящих в ней процессов, от него зависят миграционные способности тяжелых металлов, при увеличении рН подвижность большинства ТМ возрастает (Химия..., 1985). Выявлено, что уровень кислотности исследуемых почв острова Кижы (рН КС1 в среднем равен 4 и не опускается ниже 3.7) ниже по сравнению с фоновыми лесными почвами региона (Морозова, 1991). Данная особенность связана с доминированием лиственного и травяного опада, в химическом составе которого преобладает кальций.

Органическое вещество является инактиватором тяжелых металлов в почве, способствует повышению буферности почвы, уменьшению фитотоксичности тяжелых металлов и препятствует поступлению их в растения (Алексеев, 2008). По результатам исследований было выявлено, что почвы острова характеризуются высоким уровнем содержания органического веще-

ства, особенно в верхних задернованных горизонтах. Более тяжелая по гранулометрическому составу почва (р. 2) характеризуется более высокими значениями концентрации органического вещества, чем более легкая (р. 3).

Почвы острова характеризуются высокими значениями концентрации валового азота. Соотношение гумуса к азоту в изучаемых почвах узкое – C:N составляет 10-20, что говорит о высоких темпах трансформации органического вещества.

Емкость катионного обмена (ЕКО) характеризует физико-химическую поглотительную способность почв, чем больше емкость поглощения почвы, тем выше ее буферность. С ЕКО связывают устойчивость почв к антропогенным воздействиям, в частности к химическому загрязнению (Алябина, 1998). Результаты проведенного исследования соответствуют среднему уровню поглотительной способности, то есть способность изучаемых почв нейтрализовать загрязнения достаточно высокие по сравнению с зональными почвами региона (Морозова, 1991). Бурозем шунгитовый вторично-здернованный (разрез № 2) характеризуется наиболее высокими значениями ЕКО по всему профилю, а бурозем глееватый вторично-дерновый супесчаный (разрез № 3) – самими низкими, что связано с гранулометрическим составом и уровнем содержания органического вещества. Торфяные низинные почвы отличаются самыми высокими значениями ЕКО, что говорит об их высокой поглотительной способности.

Таким образом, полученные данные говорят о повышенном уровне плодородия почв острова и их высокой буферной способности по сравнению с фоновыми почвами региона, несмотря на их каменистость и кислую реакцию. Наибольшим плодородием и потенциалом к нейтрализации вредных веществ обладает бурозем шунгитовый (р. 2) и торфяная низинная почва (р. 4), а наименьшим – бурозем типичный песчаный на озерных песках (р. 3). Также наличие в профиле почв шунгитсодержащих пород способствует формированию сорбционно-шунгитовых барьеров, которые обладают высокой удерживающей способностью относительно тяжелых металлов (Федорец и др., 2004).

На первом этапе проведения мониторинга было выявлено, что для почв острова характерна более высокая концентрация тяжелых металлов, чем в среднем для почв Карелии (Морозова, 2005). Полученные данные превышают как нормативы содержания тяжелых металлов в почвах (ГН 2.1.7.2042-06, ГН 2.1.7.2041-06), так и фоновые показатели для почв Карелии (Федорец и др., 1998, 2008, 2015). Отмечалось особенно высокое содержание меди, никеля, хрома и особенно цинка. Это связано, прежде всего, с тем, что почвообразующие породы, на которых формируются почвы, изначально отличаются повышенным фоном химических элементов (Тойкка и др., 1973). Однако, из-за продолжительного периода сельскохозяйственного и рекреационного воздействия не следует исключать и антропогенный фактор формирования повышенного уровня содержания тяжелых металлов. Тенденции накопления тяжелых металлов в верхних задернованных горизонтах исследуемых почв обнаружено не было, в большинстве случаев содержание металлов в горизонтах Ad и A1 находится на одном уровне.

---

При исследованиях загрязнения почв тяжелыми металлами в качестве критериев для обнаружения признаков загрязнения обычно используются показатели ПДК и ОДК (ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06). Однако, в настоящее время, большинство ученых выступают с критикой этой системы (Водяницкий, 2012, 2014; Экологическое нормирование..., 2015). Фиксированные значения нормативов не учитывают природно-климатические и геохимические особенности регионов, поэтому рекомендуется для подобных исследований использовать значения фоновых концентраций на конкретной территории (Сысо, 2015; Ander et al., 2013; Johnson et al., 2012; Reimann, Garrett, 2005). В связи с тем, что Карелия отличается высоким разнообразием почвенного покрова, усредненные данные о содержании металлов в почвах по региону иногда также сложно применимы (в местах геохимических аномалий). В связи с этим, корректнее сравнивать с информацией о природном содержании металлов в почвах, по классификационному положению близким к почвам, сформированным на острове Кижы (Ахметова, 2016).

**Кадмий.** Ориентировочно-допустимое содержание (ОДК) кадмия для песчаных и супесчаных почв в России составляет  $0.5 \text{ мг кг}^{-1}$ , для глинистых  $2.0 \text{ мг кг}^{-1}$ . Среднее фоновое содержание кадмия в лесных подстилках почв Карелии составляет  $0.52 \text{ мг кг}^{-1}$  (Федорец и др., 1998, 2008).

В первые этапы мониторинговых исследований в 1999 и 2005 гг. определение данного металла не проводилось. В 2011 году содержание кадмия в почвах острова Кижы составляло от 0.05 до 1.42, в среднем  $0.42 \text{ мг кг}^{-1}$ . Исследования 2016 года показали такие же результаты, как и в предыдущем этапе, таким образом, загрязнения данным тяжелым металлом не наблюдается.

Большая часть острова характеризуется низкими значениями содержания кадмия. Выделяется центральная и южная части острова, где концентрация кадмия превышает  $1 \text{ мг кг}^{-1}$ .

**Свинец.** ПДК свинца для почв в России соответствует  $32 \text{ мг кг}^{-1}$ . Однако сведения об устойчивости свинца в почвах повлекли за собой резкое увеличение его ПДК в западных странах. Значения ПДК свинца в городских почвах в Великобритании составляет 300, в Канаде 500-1000, в США –  $2000 \text{ мг кг}^{-1}$  (Нейтрализация..., 2008). Среднее фоновое содержание свинца в лесных подстилках почв Карелии составляет 23.3, в минеральных горизонтах –  $15.5 \text{ мг кг}^{-1}$  (Федорец и др., 1998, 2008).

По данным первого этапа исследований остров Кижы относится к территориям с невысоким содержанием свинца. По результатам исследования в 2011 г. не было выявлено изменений уровня концентрации свинца в почвах острова. В 2016 г. содержание свинца в почвах острова в среднем находилось на уровне  $12-13 \text{ мг кг}^{-1}$ , то есть по сравнению с предыдущими этапами исследований наблюдается небольшое уменьшение концентрации данного металла. Вероятно, это связано с тем, что в настоящее время в бензине запрещено использовать соединения свинца, и данный металл постепенно выводится за пределы экосистемы. Торфяные почвы характеризуют также невысокими значениями содержания свинца – от 5 до  $17 \text{ мг кг}^{-1}$ .

**Медь.** ОДК для песчаных и супесчаных почв составляет 33, а для глинис-

тых – 132 мг кг<sup>-1</sup>. Региональное фоновое содержание меди в лесных подстилках почв Карелии составляет 37.9 мг кг<sup>-1</sup>, в минеральных горизонтах – 18.5 мг кг<sup>-1</sup>. В буроземах шунгитовых концентрация меди намного выше и может достигать 100-120 мг кг<sup>-1</sup> и более.

По результатам проведенных исследований выявлено, что почвы острова отличаются повышенным содержанием меди. В 1999 г. среднее содержание меди в дерновых горизонтах составляло 57, а в минеральных 74 мг кг<sup>-1</sup>. Почвы северной части острова отличаются более высокими значениями содержания меди – 50-200 мг кг<sup>-1</sup>, а центральная и южная части более низкими – 20-70 мг кг<sup>-1</sup>. Результаты 2005 и 2011 гг. показывают, что содержание меди в почвах острова не претерпело существенных изменений. Была выявлена точка с высокой концентрацией меди (139 мг кг<sup>-1</sup>), которая расположена в северо-западной части острова, что могло быть связано со строительными работами, проводимыми в этом месте во время отбора образцов.

Результаты четвертого этапа исследований, проводимого в 2016 г. показали следующие цифры: среднее содержание меди в почвах острова находится на уровне 80 мг кг<sup>-1</sup>, диапазон данных очень широкий – от 30 до почти 300 мг кг<sup>-1</sup>. Выявлена одна точка с очень высоким значением концентрации меди (т. 5), это может быть связано с почвообразующими породами – шунгитовыми сланцами, обломки которых встречались в почве в верхней части профиля. В целом, за период наблюдения, прослеживается слабая тенденция к увеличению содержания данного металла в почвах острова.

**Цинк.** ОДК цинка для песчаных и супесчаных почв составляет 55 мг кг<sup>-1</sup>, для глин 220 мг кг<sup>-1</sup>. Средний региональный уровень концентрации цинка составляет – 37.2 мг кг<sup>-1</sup>. Для буроземов шунгитовых характерен более высокий уровень его содержания – 200 мг кг<sup>-1</sup>.

По данным первого этапа исследования (1999 г.) концентрация цинка в верхних горизонтах почв острова составляла в среднем 190-200 мг кг<sup>-1</sup>, диапазон колебания широкий – от 46 до 280 мг кг<sup>-1</sup>. В 2005 и в 2011 гг. растворение проб почвы проходило в более мягких условиях, поэтому полученные данные сильно отличаются от первого этап исследований.

Данные 2016 г., из-за различий в методах разложения проб корректнее сравнивать с информацией 1999 г. Полученные результаты подтверждают сведения о том, что почвы острова отличаются очень высоким уровнем содержания цинка. В среднем его количество составляет около 200 мг кг<sup>-1</sup>, что более чем в пять раз превышает региональный фон. Выделяется северо-восточная часть острова (т. 5 и 9), концентрация цинка в почвах здесь достигает 300-400 мг кг<sup>-1</sup>. Это очень высокое значение, несомненно, связано с особенностями почвообразующих пород, так как и в нижних горизонтах профиля почв на данной территории содержание цинка находится на уровне 380 мг кг<sup>-1</sup>.

**Никель.** Концентрация никеля в почвах России ограничивается следующими нормативами: ОДК для песчаных и супесчаных почв – 20, для суглинистых – 40, а для глинистых – 80 мг кг<sup>-1</sup>. Региональный фон никеля – 27.5 мг кг<sup>-1</sup>, буроземы шунгитовые отличаются более высокими значениями концентрации никеля – 60 мг кг<sup>-1</sup>.

В целом, почвы острова характеризуются повышенным содержанием никеля и его неравномерным пространственным распределением. Выявлены наибольшие его значения в почвах северо-восточной и южной частях острова, здесь концентрация никеля достигает 80-100 мг кг<sup>-1</sup>. По результатам первого этапа мониторинга в 1999 г. среднее значение содержание металла находилось на уровне 33 мг кг<sup>-1</sup>, диапазон разброса данных широкий – от 3 до 76 мг кг<sup>-1</sup>. В последующие этапы мониторинговых обследований была выявлена, так же как и для меди, слабая тенденция к увеличению концентрации данного металла в почвах острова. В 2005 г. концентрация никеля, в среднем, по всем точкам отбора образцов составляла для минеральных почв 44 мг кг<sup>-1</sup> и в очесном слое торфяных почв – 60. Результаты исследований последующих этапов мониторинга (в 2011 и 2016 гг.) также показывают незначительное увеличение содержания данного металла.

**Кобальт.** Нормативов ПДК и ОДК для кобальта в России не разработаны. По данным Кабаты-Пендиас А. и Кабаты-Пендиас Х. (1989) нормальное содержание данного металла в поверхностном слое почв колеблется в пределах 1-40 мг кг<sup>-1</sup>. Средняя региональная концентрация кобальта в минеральных горизонтах почв Карелии составляет 11.6 мг кг<sup>-1</sup>.

По полученным данным содержание кобальта в верхних горизонтах минеральных почв острова Кижы не превышает фоновых значений и составляет 10-11 мг кг<sup>-1</sup>, в торфяных почвах – 7-14 мг кг<sup>-1</sup>.

Выявлено наибольшая концентрация этого металла в почвах северо-восточной части острова, здесь его значения достигают 20 мг кг<sup>-1</sup>. Большая часть изученной территории характеризуется невысоким уровнем содержания кобальта в почвах – 5-10 мг кг<sup>-1</sup>. Тенденций в изменении концентрации данного металла не выявлено.

**Хром.** Установленного уровня ПДК/ОДК хрома в почвах в России нет. Существуют сведения, о том, что максимальное безопасное содержание трехвалентного хрома находится на уровне 100 мг кг<sup>-1</sup> (Нейтрализация..., 2008). В Германии для почв сельскохозяйственных угодий ПДК хрома составляет 200, приусадебных участков – 100 мг кг<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias, 1995, 2010). Региональный фон хрома в лесных подстилках почв Карелии находится на уровне 10, в минеральных горизонтах 47.3 мг кг<sup>-1</sup>.

Среднее содержание хрома в верхних горизонтах почв о. Кижы по исследованиям первого этапа исследований составляло 25 мг кг<sup>-1</sup>, а по данным 2005 г. количество его увеличилось до 48 мг кг<sup>-1</sup>. По результатам третьего этапа мониторинга (2011 г.) концентрация хрома в почвах острова была ниже, среднее его содержание в минеральных почвах составляло 26, в торфяных 33-34 мг кг<sup>-1</sup>. По данным текущего этапа исследований (2016 г.), почвы острова характеризуются содержанием хрома на уровне 40-43 мг кг<sup>-1</sup>, торфяные почвы отличаются меньшими величинами – 20-30 мг кг<sup>-1</sup>. Выделяются несколько точек с более высокой (более 50 мг кг<sup>-1</sup>) концентрацией металла (т. 5, 46, 40, 39). Однако этот уровень не является опасным для живых организмов и находится на уровне фоновых концентраций.

Начиная со второго этапа почвенного мониторинга (2005 г.) были проведе-

ны исследования изменения содержания ТМ в почвах на территории небольшой свалки твердых бытовых отходов (ТБО). По результатам 2005 г. обнаружена высокая концентрация меди ( $130 \text{ мг кг}^{-1}$ ) и никеля ( $104 \text{ мг кг}^{-1}$ ). Данные 2011 г. выявили изменения содержания изучаемых тяжелых металлов, концентрация цинка и хрома увеличилась, однако эти изменения были незначительными. В настоящее время данная территория не используется в качестве свалки для ТБО и последние полученные данные отличаются более низкими значениями содержания тяжелых металлов. Можно сделать вывод о том, что за прошедшее время произошел вынос загрязняющих веществ за пределы почвенной системы данной территории.

Таким образом, при дальнейшей работе на следующем этапе мониторинга необходимо уделить внимание выявлению возможных источников загрязнения почв острова такими тяжелыми металлами как медь и никель, для которых была выявлена слабая тенденция увеличения концентрации

В качестве рекомендации по периодичности организации исследований можно предложить продолжать использовать установленную схему – отслеживать тенденции в изменении содержания тяжелых металлов в почвах каждые пять лет. В дополнение к мониторингу тяжелых металлов администрации музея-заповедника «Кижы» было предложено проводить отслеживание изменений педохимических и микробиологических (в настоящее время не проводятся) параметров почв острова каждые 10-15 лет. Также нам хотелось бы рекомендовать периодически (например, через каждые 20-25 лет) возвращаться к первоначальной, более густой сетке отбора почвенных образцов для анализа содержания тяжелых металлов.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность сотруднику музея-заповедника «Кижы» Р.С. Мартьянову за организацию проведения исследований, сотрудникам Института леса Карельского научного центра С.Г. Новикову за помощь в отборе образцов, К.М. Никеровой, В.А. Вдовиченко и Н.И. Ивашовой за помощь и совет при проведении химических анализов.

Представленный материал был получен при выполнении государственного задания ИЛ КарНЦ РАН (0220-2014-0006, 0220-2014-0008) и при частичной финансовой поддержке проекта «Мониторинговые исследования природной среды района Кижских шхер».

### **Список литературы**

Алексеев Ю.В. 2008. Тяжелые металлы в агроландшафте. – СПб., Изд-во ПИЯФ РАН, 216 с.

Алябина И.О. 1998. Закономерности формирования поглощательной способности почв. – М., РЭФИА, 47 с.

Аринушкина Е.В. 1970. Руководство по химическому анализу почв. – М., МГУ, 488 с.

---

---

Ахметова Г.В. 2016. Географические особенности распределения микроэлементов в почвах среднетаежной подзоны республики Карелия. – Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, № 10-4, с. 572-576.

Бюллетень экологических исследований на территории музея-заповедника «Кижы». 2015 год. 2016. – Петрозаводск, Музей-заповедник «Кижы», 32 с.

Водяницкий Ю.В. 2012. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах. – Почвоведение, № 3, с. 368-375.

Водяницкий Ю.В. 2014. Учет геохимических особенностей территории и погодных условий при нормировании тяжелых металлов в почвах. – Агрохимия, № 2, с. 66-72.

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

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

ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

Громов С.А., Парамонов С.Г. 2015. Современное состояние и перспективы развития комплексного фоновый мониторинга загрязнения природной среды. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, т. XXVI, № 1, с. 205-221.

Знаменский С.Р. 1999. Современное состояние и попытка прогноза развития луговых сообществ острова Кижы. – Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Серия Б. «Биогеография», вып. 1, с. 66-74.

Израэль Ю.А. 1984. Экология и контроль состояния природной среды. – М., Гидрометеиздат, 560 с.

Кабата-Пендиас А., Кабата-Пендиас Х. 1989. Микроэлементы в почвах и растениях. – М., Мир, 439 с.

Лукашов А.Д. 1999. Рельеф и условия образования острова Кижы. – Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Серия Б. «Биогеография», вып. 1, с. 16-20.

Морозова Р.М. 2005. К вопросу о загрязнении почв острова Кижы тяжелыми металлами. – 10 лет экологическому мониторингу музея-заповедника «Кижы». – Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, с. 66-75.

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

Мотузова Г.В. 1999. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация, экологическое значение, мониторинг. – М., Эдориал, 168 с.

Мотузова Г.В., Безуглова О.С. 2007. Экологический мониторинг почв. – М., Гаудеамус, 237 с.

---

Муравьев А.Г., Каррыев Б.Б., Ляндзберг А.Р. 2008. Оценка экологического состояния почвы. Практическое руководство. – СПб., Кристмас+, 216 с.

Нейтрализация загрязненных почв. 2008. Под общ. ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань, Мещерский ф-л ГНУ ВНИИГ и Россельхозакадемии, 528 с.

Организация комплексного экологического мониторинга природной среды Кижских шхер. 1994. – Петрозаводск (Архив музея «Кижы», № 1106).

Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. 2002, Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. – М., Высш. школа, 334 с.

Путеводитель почвенной экскурсии. Лесная зона Карелии. 1974. – М., Наука, с. 76.

Сысо А.И. 2015. Российские гигиенические нормативы экологической оценки почв, их научная обоснованность и проблемы использования. – В кн.: Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии (в двух томах), т. 1. – Барнаул, с. 39-42.

Тойка М.А., Перевозчикова Е.М., Левкина Т.И., Заварзин В.М., Михкиев А.И., Изергина М.М.. 1973. Микроэлементы в Карелии. – Л., Наука, 284 с.

Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Медведева М.В., Ахметова Г.В., Новиков С.Г., Ткаченко Ю.Н., Солодовников А.Н. 2015. Тяжелые металлы в почвах Карелии. – Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 222 с.

Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Солодовников А.Н., Морозов А.К. 2008. Почвы Карелии: геохимический атлас. – М., Наука, 47 с.

Федорец Н.Г., Дьяконов В.В., Литинский П.Ю., Шильцова Г.В. 1998. Загрязнение лесной территории Карелии тяжелыми металлами и серой. – Петрозаводск, КарНЦ РАН, 50 с.

Федорец Н.Г., Морозова Р.М., Бахмет О.Н. 2004. Почвы и почвенный покров Заонежского полуострова. – Труды Карельского научного центра Российской академии наук, № 6, с. 69-89.

Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах. 1985. – М., Изд-во Моск. ун-та, 208 с.

Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель 2013. – М., НИИ-Природа, 310 с.

Adriano D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. – Springer, New York, NY, USA, 2nd edition, 876 p.

Ander E. L., Johnson C. C., Cave M. R. A, Palumbo-Roe B., Nathanail C. P., R. Lark M. 2013. Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil. – Science of the Total Environment, vol. 454-455, pp. 604-618.

Johnson C.C., Ander E.L., Cave M.R., Palumbo-Roe B. 2012. Normal Background Concentrations (NBCs) of Contaminants in English Soils: Final Project Report. British Geological Survey Commissioned Report. CR/12/035, 40 p.

---

Kabata-Pendias A. 1995. Agricultural problems related to excessive trace metal contents in soil. – Heavy metals (Problems and solutions). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Tokyo, pp. 3-18.

Kabata-Pendias A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants. – Boca Raton, FL, Crc Press, 548 p.

Reimann C., Garrett R.G. 2005. Geochemical background – concept and reality. – Sci. Total Environ., 350, pp.12-27.

## References

Alekseev Iu.V. 2008. *Tiazhelye metally v agrolandshafte* [Heavy metals in agrolandscape]. St. Petersburg, Izd-vo PIIaF RAN Publ., 216 p. (In Russian).

Aliabina I.O. 1998. *Zakonomernosti formirovaniya poglotitel'noi sposobnosti pochv* [Formation patterns of the soil adsorption capacity]. Moscow, REFIA Publ., 47 p. (In Russian).

Arinushkina E.V. 1970. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Soil chemical analysis manual]. – Moscow, MGU Publ., 488 p. (In Russian).

Akhmetova G.V. 2016. Geograficheskie osobennosti raspredeleniia mikroelementov v pochvakh srednetaezhnoi podzony respubliki Kareliia [Geographic patterns of microelements distribution in soils of Karelian midtaiga zone]. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy – International journal of applied and fundamental research*. no. 10-4, pp. 572-576. (In Russian).

*Biulleten' ekologicheskikh issledovaniy na territorii muzeia-zapovednika «Kizhi». 2015 god.* [Bulletin of ecological studies in the «Kizhi» museum-reserve. 2015]. 2016. Petrozavodsk, Muzej-zapovednik «Kizhi» Publ., 32 p. (In Russian).

Vodjanickii Iu.V. 2012. Normativy sodержaniia tiazhelykh metallov i metalloidov v pochvakh [Standards of heavy metals and metalloids content in soils]. *Pochvovedenie – Eurasian Soil science*, no. 3, pp. 368-375. (In Russian).

Vodjanickii Iu.V. 2014. Uchet geokhimicheskikh osobennostei territorii i pogodnykh uslovii pri normirovanii tiazhelykh metallov v pochvakh [Local geochemical characteristics and weather conditions considerations in defining the standards of heavy metal content in soils]. *Agrokimiia – Agrochemistry*, no. 2, pp. 66-72. (In Russian).

GN 2.1.7.2041-06. *Predel'no dopustimye kontcentracii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve* [Maximum permissible concentrations of chemicals in soils]. (In Russian).

GN 2.1.7.2042-06. *Orientirovochno dopustimye kontcentracii (ODK) khimicheskikh veshchestv v pochve* [Tentative permissible concentrations of chemicals in soils]. (In Russian).

GOST 17.4.4.02-84. *Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza* [Environmental protection. Soil. Sampling and preconditioning procedure for chemical, bacteriological, helminthologic analyzing]. (In Russian).

Gromov S.A., Paramonov S.G. 2015. Sovremennoe sostoianie i perspektivy razvitiia kompleksnogo fonovogo monitoringa zagriazneniia prirodnoi sredy [Current status and prospects for the development of integrated background monitoring of environmental pollution]. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniia ekosistem – Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling*, vol. XXVI, no. 1, pp. 205-221. (In Russian).

Znamenskii S.R. 1999. Sovremennoe sostoianie i popytka prognoza razvitiia lugovykh soobshchestv ostrova Kizhi [Current condition and prediction attempt to predict the evolution of meadow communities on Kizhi Island]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Seriya B. «Biogeografiia» – Trans. KarRC RAS. Biogeography*, vol. 1, pp. 66-74. (In Russian).

Zyrin N.G., Kaplunova E.V., Serdjukova A.V. 1985. Normirovanie soderzhaniia tiazhelykh metallov v sisteme pochva–rastenie [Regulation of permissible heavy metal content in the soil-plant system]. *Khimiia v sel'skom khoziaistve – Chemistry in agriculture*, no. 6, pp. 45-48. (In Russian).

Izrael' Iu.A. 1984. *Ekologiia i kontrol' sostoianiia prirodnoi sredy* [Ecology and control of the natural environment]. Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 560 p. (In Russian).

Kabata-Pendias A., Kabata-Pendias H. 1989. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniakh* [Trace elements in soils and plants]. Moscow, Mir Publ., 439 p. (In Russian).

Lukashov A.D. 1999. Rel'ef i usloviia obrazovaniia ostrova Kizhi [Topographic relief and formation conditions of Kizhi Island]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk. Seriya B. «Biogeografiia» – Trans. KarRC RAS. Biogeography*, vol. 1, pp. 16-20. (In Russian).

Morozova R.M. 2005. *K voprosu o zagriaznenii pochv ostrova Kizhi tiazhelymi metallami*. [On heavy metal contamination of Kizhi Island's soils]. – 10 let ekologicheskomu monitoringu muzeia-zapovednika «Kizhi» [10 years of «Kizhi» museum-reserve ecological monitoring]. Petrozavodsk, Karel'skii nauchnyi t sentr RAN Publ., pp. 66-75. (In Russian).

Morozova R.M. 1991. *Lesnye pochvy Karelii* [Forest soils of Karelia]. Leningrad, Nauka Publ., 184 p. (In Russian).

Motuzova G.V. 1999. *Soedineniia mikroelementov v pochvakh: sistemnaia organizatsiia, ekologicheskoe znachenie, monitoring* [Trace elements compounds in soils: systems organization, ecological significance, monitoring]. Moscow, Edorial Publ., 168 p. (In Russian).

---

---

Motuzova G.V., Bezuglova O.S. 2007. *Ekologicheskii monitoring pochv* [Ecological monitoring of soils]. Moscow, Gaudeamus Publ., 237 p. (In Russian).

Murav'ev A.G., Karryev B.B., Ljandzberg A.R. 2008. *Otsenka ekologicheskogo sostoianiia pochvy* [Assessment of the ecological condition of soil]. St. Petersburg, Kristmas+ Publ., 216 p. (In Russian).

*Neitralizatsiia zagriaznennykh pochv* [Amelioration of contaminated soils]. 2008. Riazan, Meshcherskii f-l GNU VNIIGiM Rossel'khozakademii Publ., 528 p. (In Russian).

*Organizatsiia kompleksnogo ekologicheskogo monitoringa prirodnoi sredy Kizhskikh shkher* [Setting up integrated ecological monitoring of the Kizhi skerries environment]. 1994. Petrozavodsk (Arkhiv muzeia«Kizhi» Publ., № 1106). (In Russian).

Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Lozanovskaia I.N. 2002. *Ekologiya i okhrana biosfery pri khimicheskoi zagriaznenii* [The environment and biosphere protection under chemical pollution]. Moscow, Vyssh. shkola Publ., 334 p. (In Russian).

*Putevoditel' pochvennoi ekskursii. Lesnaia zona Karelii* [A soil excursion guidebook. Forest zone of Karelia]. 1974. Moscow, Nauka Publ., 76 p. (In Russian).

Syso A.I. 2015. Rossiiskie gigienicheskie normativy ekologicheskoi otsenki pochv, ikh nauchnaia obosnovannost' i problemy ispol'zovaniia [Russian hygienic standards for ecological assessment of soils, their scientific foundation and application problems]. *V kn. Biogeochemiya tekhnogeneza i sovremennye problemy geokhimicheskoi ekologii (v dvukh tomakh)*. t. 1 [Biogeochemistry of Technogenesis and Modern Problems of Geochemical Ecology (2 Volume)]. Barnaul, vol. 1, pp. 39-42. (In Russian).

Toikka M.A., Perevozchikova E.M., Levkina T.I., Zavarzin V.M., Mikhkiev A.I., Izergina M.M. 1973. *Mikroelementy v Karelii* [Trace elements in Karelia]. Leningrad, Nauka Publ., 284 p. (In Russian).

Fedorets N.G., Bakhmet O.N., Medvedeva M.V., Akhmetova G.V., Novikov S.G., Tkachenko Iu.N., Solodovnikov A.N. 2015. *Tiazhelye metally v pochvakh Karelii* [Heavy metals in Karelian soils]. Petrozavodsk, Karel'skii nauchnyi tsentr RAN Publ., 222 p. (In Russian).

Fedorets N.G., Bakhmet O.N., Solodovnikov A.N., Morozov A.K. 2008. *Pochvy Karelii: geokhimicheskii atlas* [Soils of Karelia: geochemical atlas]. Moscow, Nauka Publ., 47 p. (In Russian).

Fedorets N.G., D'iakonov V.V., Litinskii P.Iu., Shil'tsova G.V. 1998. *Zagriaznenie lesnoi territorii Karelii tiazhelymi metallami i seroi* [Heavy metals and sulfur contamination of the forest area of Karelia]. Petrozavodsk, KarNTs RAN Publ., 50 p. (In Russian).

Fedorets N.G., Morozova R.M., Bakhmet O.N. 2004. *Pochvy i pochvennyi pokrov Zaonezhskogo poluostrova* [Soils and soil cover of Zaonezhskii Peninsula].

---

*Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk» –Trans. KarRC RAS. Biogeography*, vol. 6, pp. 69-89. (In Russian).

*Khimiia tiazhelykh metallov, mysh'iaka i molibdena v pochvakh* [Chemistry of heavy metals, arsenic and molybdenum in soils]. 1985. Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta Publ., 208 p. (In Russian).

*Ekologicheskoe normirovanie i upravlenie kachestvom pochv i zemel'* [Ecological standard setting and management of the quality of soils and land]. 2013. Moscow, NIA-Priroda Publ., 310 p. (In Russian).

Adriano D.C. 2001. Trace Elements in Terrestrial Environments: Biogeochemistry, Bioavailability and Risks of Metals. – Springer, New York, NY, USA, 2nd edition, 876 p.

Ander E. L., Johnson C. C., Cave M. R. A, Palumbo-Roe B., Nathanail C. P., R. Lark M. 2013. Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil. – Science of the Total Environment, vol. 454-455, pp. 604-618.

Johnson C.C., Ander E.L., Cave M.R., Palumbo-Roe B. 2012. Normal Background Concentrations (NBCs) of Contaminants in English Soils: Final Project Report. British Geological Survey Commissioned Report. CR/12/035, 40 p.

Kabata-Pendias A. 1995. Agricultural problems related to excessive trace metal contents in soil. – Heavy metals (Problems and solutions). Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Tokyo, pp. 3-18.

Kabata-Pendias A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants. – Boca Raton, FL, Crc Press, 548 p.

Reimann C., Garrett R.G. 2005. Geochemical background – concept and reality. – Sci. Total Environ., 350, pp. 12-27.

Статья поступила в редакцию: 19.04.2017 г.

После переработки: 05.05.2017 г.