

**ОЦЕНКА
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ ПОЧВ
ПРИРОДНО-
РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЫ
Г. ПЕТРОЗАВОДСКА**

С. Г. Новиков, к. б. н., научный сотрудник, Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия,
М. В. Медведева, к. б. н., доцент, заведующая лабораторией лесного почвоведения, Институт леса КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия,
О. Н. Бахмет, д. б. н., чл.-корр. РАН, руководитель Отдела комплексных исследований КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск, Россия

Работа выполнена на территории города Петрозаводска, расположенного в среднетаежной подзоне Карелии. Исследовано влияние урбанистического воздействия на почвы городской природно-рекреационной зоны. На территории наиболее крупных городских парков, скверов и пригородных лесов было обследовано 24 пробные площадки. Изучены кислотно-щелочные показатели, содержание биофильных элементов (Cu, Zn, Co, Mn), а также численность микроорганизмов в поверхностном слое почв. Выявлено, что исследуемые почвы имеют кислую и близкую к нейтральной реакцию среды. Установлено, что средние концентрации большинства исследуемых элементов находятся в пределах нормативов, но выше уровня регионального фона. Установлено изменение численности микроорганизмов важнейших эколого-трофических групп на фоне техногенного пресса. Показано возрастание целлюлозолитической активности почв на фоне антропогенного воздействия, что свидетельствует об усилении круговорота элементов-биофилов почве. При индикации антропогенного воздействия на физико-химические и микробиологические свойства почв необходима информация о незагрязненных фоновых почвах, а также о содержании элементов-биофилов в исследуемых почвах антропогеннонарушенных урбоэкосистем. Полученные данные комплексных исследований могут служить основой при проведении урбоэкологического мониторинга природной среды в данной природно-климатической зоне.

The study was carried out in the city of Petrozavodsk situated in the mid-taiga subzone of Karelia. The urban effects on soils were investigated in recreational nature areas in the city. The surveys were done in 24 sample plots in the largest urban parks, pocket parts and suburban forests. The acid-alkali properties, levels of nutrients (Cu, Zn, Co, Mn), as well as microorganism numbers in the top layer of soil were investigated. The pH of the studied soils was acid or near neutral. The average concentrations of the majority of the analyzed elements were within normative limits but higher than the regional background. The surveys showed that the abundance of microorganisms belonging to essential eco-trophic groups has changed under urban pressure. The cellulose degrading activity in soils has increased under human impact, indicating a more intensive cycling of biophilic elements in the soil. The identification of human impact on soil physical, chemical and microbiological properties requires the data on uncontaminated reference soils, as well as about the content of nutrients in the soils studied in anthropogenically damaged urban ecosystems. The findings from our integrated studies can be used as the background for urban environmental monitoring in the given natural and climatic zone.

Ключевые слова: среднетаежная подзона Карелии, городские почвы, кислотность почв, биофильные элементы, микроорганизмы, мониторинг.

Keywords: the mid-taiga subzone of Karelia, urban soils, soil acidity, nutrients, microorganisms, monitoring.

Введение

Из многообразия причин, которые ведут к ухудшению состояния почв, можно выделить влияние урбанистического пресса. Почвы города подвержены комбинированному антропогенному воздействию, которое складывается из рекреационного влияния, химического загрязнения и других видов [1]. Исследование закономерностей

формирования почв, находящихся в условиях урбанизации и функционирования, должно основываться на территориальном зонировании. Последнее, как известно, является основным инструментом при планировании градостроительства [2].

На городской территории, как правило, можно выделить следующие зоны различного землепользования: земли общего пользования, городской застройки, при-

родно-рекреационной зона, сельской застройки и земли резерва [2]. Оптимально сформированная природно-рекреационная зона является важным условием жизнеобеспечения граждан любого города [3]. Благоприятно влияет на состояние окружающей среды, способствует улучшению микроклимата и является местом отдыха для населения. Она включает в себя пригородные леса, парки, сады, озелененные скверы. Одним из важнейших компонентов природной среды на территории зеленых зон города является почва. Она, как часть геотехсистемы, должна обеспечивать произрастание зеленых насаждений, а также является средой обитания биоты, то есть выполнять свои основные экологические функции.

Спектр негативного влияния на почвы различный, в этой связи используются различные методы и приемы изучения почв, необходим поиск индикаторов их состояния. Большинство современных исследований, посвященных изучению экологического состояния городских почв, рассматривают микроэлементы, как загрязнители (тяжелые металлы), однако некоторые из них являются биофильными, то есть жизненно необходимыми для растений и живых организмов. К таким элементам относятся медь, цинк, кобальт, марганец и др., наличие которых в почве в пределах нормы является неотъемлемой составляющей хорошего экологического состояния почв [4]. Также при анализе почв города необходимо устанавливать основные критерии оценки их биотической компоненты [5, 6]. Однако, как показывает практика, необходим комплексный подход при оценке состояния окружающей среды. Рекомендуют наряду с содержанием микроэлементов исследовать показатели потенциальной и актуальной биологической активности в комплексе с интегральным показателем биологического состояния [7].

Целью данного исследования являлась оценка экологического состояния поверхностного слоя почв природно-рекреационной зоны Петрозаводска. Для достижения этой цели решались следующие задачи: установить средние уровни валового содержания некоторых биофильных элементов в почвах природно-рекреационной зоны Петрозаводска; выявить биологическую активность почв зеленой зоны;

дать оценку экологического состояния почв природно-рекреационной зоны Петрозаводска.

Полученные данные являются основой урбоэкологического мониторинга почв; позволяют прогнозировать изменение природной среды на фоне техногенного пресса.

Объекты и методы

Объектами данного исследования являлись почвы природно-рекреационной зоны Петрозаводска, расположенного в среднетаежной подзоне Карелии (61°47'46" с. ш. 34°20'57" в. д.). Почвенные образцы отбирались из верхнего 10-сантиметрового слоя методом «конверта» с площадок размером 10 × 10 м. На территории наиболее крупных городских парков, скверов и пригородных лесов было обследовано 24 пробные площадки (рис. 1). Валовое содержание биофильных элементов (Cu, Zn, Co, Mn) определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (спектрофотометр AA-7000, Shimadzu, Япония) в ЦКП «Аналитическая лаборатория» Института леса КарНЦ РАН. Полученные результаты сравнивали с российскими нормативами содержания химических элементов в почвах (табл. 1) [8, 9]. В качестве регионального фона использовали среднее содержание элементов в минеральных подподстилочных горизонтах почв Карелии [10]. Микробиологические анализы выполнялись согласно методикам [5, 11, 12].

Результаты и обсуждения

На землях природно-рекреационной зоны Петрозаводска в среднем определена кислая и близкая к нейтральной реакция почв, рН солевая составляет 3,3–5,9. В отдельных случаях выявлена нейтральная и слабощелочная реакция: на терри-

Таблица 1
Гигиенические нормативы содержания тяжелых металлов в почве (мг/кг)

Показатель	Cu	Zn	Co	Mn
ПДК	$\frac{—}{3}$	$\frac{—}{23}$	$\frac{—}{5}$	$\frac{1500}{80}$
ОДК	33	55	—	—

Примечание: ПДК — в числителе валовое содержание, в знаменателе — подвижные формы, ОДК — валовое содержание.

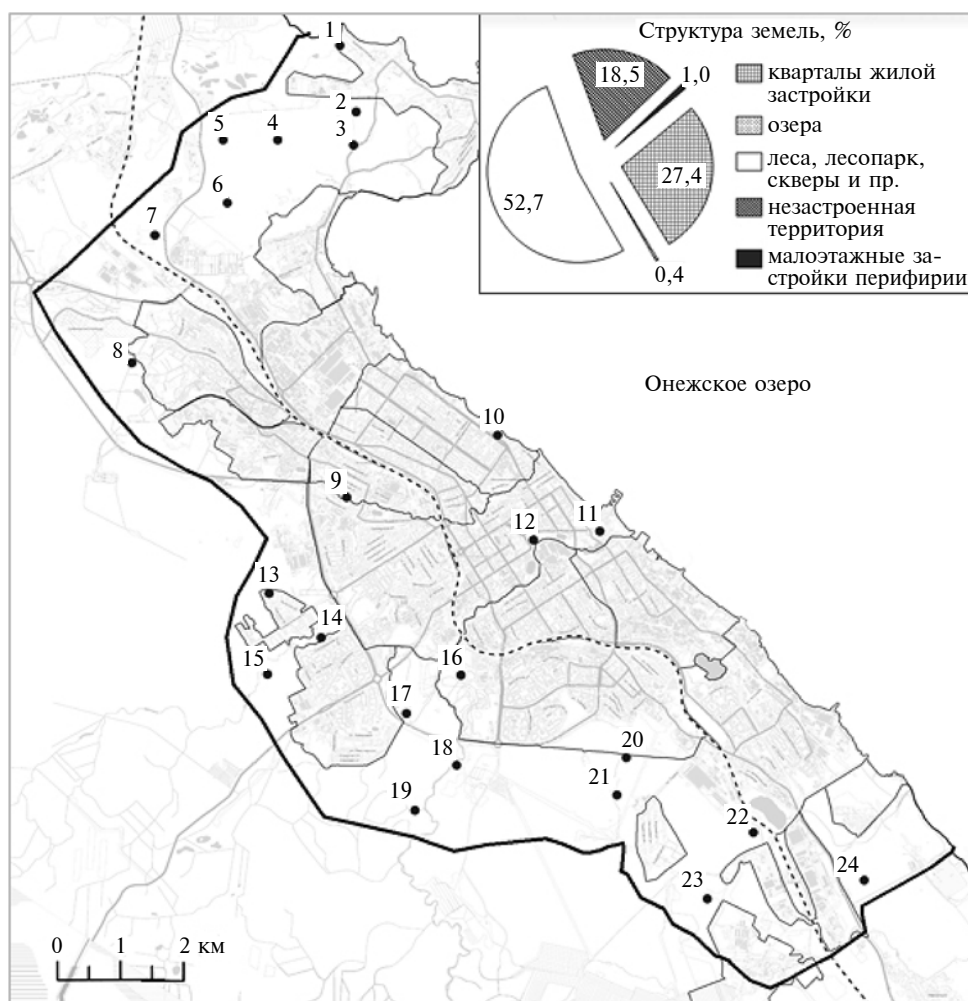


Рис. 1. Точки отбора почвенных проб на территории города Петрозаводска:

— граница обследуемой территории (г. Петрозаводска); — границы основных районов города

тории пригородных лесов и в городских парках. Подщелачивание почв в черте города происходит в результате оседания на земной поверхности городской пыли. Она состоит из выхлопов автотранспорта, мелких остатков стройматериалов, а также аэротехногенных промышленных выбросов, которые часто содержат различные соединения щелочных металлов. В целом верхние горизонты почв города имеют нейтральную и слабощелочную реакцию среды [13], что не является характерным для почв ненарушенных лесных экосистем Карелии.

Содержание исследуемых элементов в почвах городской зеленой зоны подвержено значительным колебаниям, о чем свидетельствует высокое значение коэффициента вариации — более 33 % (табл. 2). Самый высокий показатель выявлен для марганца — 139 %, что говорит о неодно-

родности химических условий и высокой миграционной способности. Наименьшее значение получено для цинка — 40 %, что показывает его наименьшую чувствительность к условиям эдофона.

Показатели стандартного отклонения свидетельствуют о том, что данные по содержанию элементов, особенно марганца, сильно рассеяны от среднего значения, то есть наблюдается широкий разброс данных. Минимальное стандартное отклонение получено для концентраций кобальта, которое составляет 5,9. Стандартная ошибка среднего также особенно велика для значений, полученных по содержанию марганца, и минимальна для концентраций кобальта — 1,2.

Исследуемые элементы являются биофильными, то есть они необходимы для нормальной жизнедеятельности растений и животных, однако в избытке они ста-

новятся токсичным. Концентрация цинка достигает 1–2 ОДК на всей исследуемой территории. Максимальное содержание определено в почвенных образцах, отобранных в парковой зоне центральной части города, а также в пригородных лесах у обочин дорог и в местах несанкционированных свалок. На этих же пробных площадках выявлены максимальные концентрации меди (2–2,5 ОДК). Данные элементы входят в состав различных металлических сплавов, которые могут присутствовать в строительном и бытовом мусоре. Также известно, что одним из основных источников металлов является сжигание топлива транспортом [2, 10], интенсивность которого в последние десятилетия возросла. Парк «Ямка» находится в центральной части города на одной из речных террас, в понижении рельефа, что может способствовать аккумуляции аэротехногенных поллютантов. В этой связи в почвах парка определены максимальные концентрации элементов.

Среднее содержание кобальта в почвах зеленой зоны находится на уровне регионального фона. Его максимальная концентрация определена в местах скопления

бытового мусора. В российских нормативах отсутствуют данные об уровне допустимой концентрации данного элемента (валовое содержание) в почве. Однако в связи с большой значимостью в трофических цепях, необходим его мониторинг, установление диапазона изменения концентрации в почве.

Наименее токсичным из исследуемых металлов является марганец. Средняя концентрация данного элемента в лесной подстилке и минеральном подподстилочном горизонте ненарушенных почв Карелии составляет 1465 и 282 мг/кг, соответственно [10], то есть наблюдается накопление в органогенном горизонте. На территории городской зеленой зоны оно в верхнем слое почв составляет 1034 мг/гк. Можно это объяснить тем, что на землях природно-рекреационной зоны Петрозаводска в большинстве случаев поверхностный слой почв представлен антропогенно нарушенным задернованным органоминеральным горизонтом, свойства которого резко отличны от их естественных аналогов. Максимальная концентрация марганца достигает 4 ПДК и определена в почвах парка «Ямка» в центральной части города.

Таблица 2
Содержание тяжелых металлов в поверхностном слое почв (0–10 см)
природно-рекреационной зоны Петрозаводска

Элемент	Фоновое содержание, мг/кг	Мин.—Макс. Среднее значение	Станд. отклонение	Станд. ошибка	Коэффициент вариации, %
Cu	18,5	$\frac{10,2-85,5}{27,6}$	21,5	4,4	78
Zn	37,2	$\frac{48,6-95,6}{56,4}$	22,8	4,7	40
Co	11,6	$\frac{4,8-32,9}{10,2}$	5,9	1,2	57
Mn	282	$\frac{268,9-4349,6}{1034,2}$	873,7	178,3	84

Таблица 3
Микробиологические показатели почв парковой зоны Петрозаводска,
тыс. КОЕ/г почвы

Глубина, см	Бактерии, использующие		Олигонитрофилы	Олиготрофы	Микромицеты	КЦМ	Актиномицеты
	N-NH ₂	N-NH ₄					
0–5	4710–12 384	942–63 360	3125–45 243	5809–24 254	59–578	3–60	236–10 218
5–10	5548–13 112	536–11 880	1567–22 165	1124–15 342	81–578	3–60	268–5148
Заповедник «Кивач»							
0–5	до 79 073	до 155 744	до 121 404	897–31 250	до 188	до 45	до 18 090
5–10	801–31 189	2083–29 889	1203–32 989	608–16 543	54–206	до 15	255–992

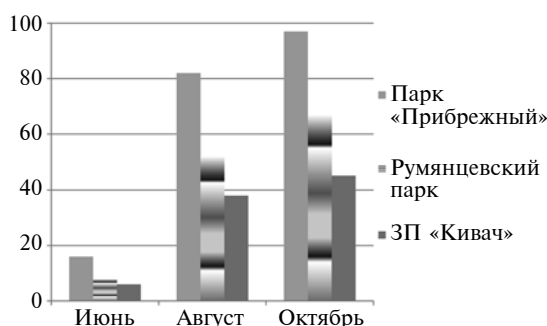


Рис. 2. Динамика разложение целлюлозного полотна в почвах исследуемых биогеоценозов

Изучаемые элементы способны оказывать олигодинамическое воздействие на микробиоценоз. Исследования показали, что в целом микробиологическая активность почв парковой зоны Петрозаводска сохраняет план строения, характерный для почв ненарушенных территорий (табл. 3). В микробном сообществе присутствуют все, наиболее значимые эколого-трофические группы микроорганизмов. Отмечена высокая численность микроорганизмов, осуществляющих круговорот азота и углерода. Высокая численность бактерий-олигонитрофилов, актиномицетов свидетельствует о глубокой минерализации органического вещества в изучаемых почвах.

Необходимо отметить высокую численность (до 60 тыс. КОЕ/г почвы) микроорганизмов целлюлолитического комплекса (КЦМ). Их высокая численность и разнообразие (присутствуют бактерии, актиномицеты и микромицеты) могут обеспечивать интенсивное разложение целлю-

лозного полотна. Последнее хорошо подтверждалось модельными опытами *in situ* (рис. 2).

Заключение

Таким образом, при анализе почвенных проб отобранных из верхнего 10-сантиметрового слоя на землях природно-рекреационной зоны Петрозаводска установлено, что средние концентрации большинства исследуемых биофильных элементов находятся в пределах нормативов, однако они выше уровня регионального фона. При этом необходимо отметить, что, несмотря на накопление Cu, Zn, Co, Mn, растения находятся в удовлетворительном состоянии, способны выполнять свои рекреационно-экологические и эстетические функции.

Анализ микробиологической активности показал отсутствие резкого уменьшения их численности и функциональной активности. Это свидетельствует об адаптации микробиоценоза к урбанистическому воздействию, их активном участии в почвообразовательном процессе. Последнее предполагает аккумуляцию продуктов техногенеза микроорганизмами, трансформацию мортмассы, синтез гумуса, а значит высокую продукционную способность фитоценоза на современном этапе развития урбоэкосистемы.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса КарНЦ РАН).

Библиографический список

1. Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В., Прокофьева Т. В. Антропогенные почвы: учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры. 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт. — 2017. — 265 с.
2. Почва. Город. Экология. Ред. Г. В. Добровольский, М. Н. Строганова / М.: Фонд «За экономическую грамотность». — 1997. — 320 с.
3. Tajima K. New Estimates of the Demand for Urban Green Space: Implications for Valuing the Environmental Benefits of Boston's Big Dig Project. [Новые оценки спроса на городские зеленые насаждения: последствия для оценки экологических преимуществ Бостонского проекта Big Dig] // Journal of Urban Affair. — 2003. — Vol. 25. — С. 641—655. URL: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9906.2003.00006.x>.
4. Шихова Н. С. Антропогенная динамика лесных экосистем полуострова Муравьев-Амурский в связи с процессами урбанизации // Вестник Иркутской сельскохозяйственной академии, 2013. — № 54. — С. 105—112.
5. Федорец Н. Г., Медведева М. В. Методика исследования почв урбанизированных территорий // Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. — 2009. — 84 с.
6. Федорец Н. Г., Медведева М. В. Эколого-микробиологическая оценка состояния почв города Петрозаводска // Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. — 2005. — 96 с.
7. Галактионова Л. В., Васильченко А. В., Суздалева А. В. Биодиагностика почв парковой зоны г. Оренбурга // Вестник Оренбургского государственного университета. — 2015. — № 6. — С. 116—122.

8. ГН 2.1.7.2041—06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Утв. Главным санитарным врачом РФ 19.01.2006. Изд. офиц. — М.: ИИЦ Минздрава России. — 2006. — 15 с.
9. ГН 2.1.7.2511—09. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Утв. Главным санитарным врачом РФ 18.05.2009. Изд. офиц. — М.: ИИЦ Минздрава России. — 2009. — 3 с.
10. Федорец Н. Г., Бахмет О. Н., Солодовников А. Н., Морозов А. К. Почвы Карелии: геохимический атлас // М.: Наука. — 2008. — 47 с.
11. ГОСТ 14.4.2.01—81 (СТ СЭВ 4470—84). «Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния» // Госстандарт. М., 1981.
12. ГОСТ 17.4.4.02—84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического и гельминтологического анализа» // Госстандарт, М., 1984.
13. Новиков С. Г. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв различных категорий землепользования на территории города Петрозаводска // Труды КарНЦ РАН. No 1. Сер. Экологические исследования. 2015. — С. 78—85.

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF SOILS IN RECREATIONAL NATURE AREAS IN THE CITY OF PETROZAVODSK

S. G. Novikov, Ph. D. (Biology), Researcher, Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia,

M. V. Medvedeva, Ph. D. (Biology), Associate Professor, Head of the Laboratory of Forest Soil Science, Forest Research Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia,

O. N. Bakhmet, Ph. D. (Biology), Dr., Habil., Corr. Member of the RAS, Head of the Department of Multidisciplinary Scientific Research, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

References

1. Gerasimova M. I., Stroganova M. N., Mozharova N. V., Prokof'eva T. V. Antropogennyye pochvy: ucheb. posobie dlya bakalavriata i magistratury. 2-e izd., ispr. i dop. [Anthropogenic soils: textbook for undergraduate and graduate programs. 2nd edition]. Moscow, Izdatel'stvo Yurajt, 2017. 265 p. [in Russian].
2. Pochva. Gorod. Ekologiya. [Soil. City. Ecology]. Red. G. V. Dobrovol'skiy, M. N. Stroganova. Moscow, Fond "Za ekonomicheskuyu gramotnost'", 1997. 320 p. [in Russian].
3. Tajima K. New Estimates of the Demand for Urban Green Space: Implications for Valuing the Environmental Benefits of Boston's Big Dig Project. Journal of Urban Affairs. 2003. Vol. 25 P. 641—655. URL: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9906.2003.00006.x>.
4. Shikhova N. S. Antropogennaya dinamika lesnykh ekosistem poluostrova Murav'ev-Amurskiy v svyazi s processami urbanizatsii [Anthropogenic dynamics of forest ecosystems of the Muravyov-Amursky Peninsula]. Vestnik Irkutskoy sel'skohozyajstvennoy akademii, 2013. No. 54. P. 105—112 [in Russian].
5. Fedorets N. G., Medvedeva M. V. Metodika issledovaniya pochv urbanizirovannykh territorij. [Methodology for the study of soil in urban areas]. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyj centr RAN, 2009. 84 p. [in Russian].
6. Fedorets N. G., Medvedeva M. V. Ekologo-mikrobiologicheskaya ocenka sostoyaniya pochv goroda Petrozavodsk. [Ecological and microbiological assessment of soils of Petrozavodsk]. Petrozavodsk, Karel'skiy nauchnyj centr RAN, 2005. 96 p. [in Russian].
7. Galaktionova L. V., Vasil'chenko A. V., Suzdaleva A. V. Biodiagnostika pochv parkovoy zony g. Orenburga. [Biological diagnostics of soils of the park zone of the city of Orenburg]. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta, 2015. No. 6. P. 116—122 [in Russian].
8. ГН 2.1.7.2041—06. Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v pochve. [Maximum permissible concentrations of chemicals in the soil]. Utv. Glavnym sanitarnym vrachom RF 19.01.2006. Izd. ofic. Moscow, IIC Minzdrava Rossii, 2006. 15 p. [in Russian].
9. ГН 2.1.7.2511—09. Orientirovochno dopustimye koncentracii (ODK) himicheskikh veshchestv v pochve. [Approximate allowable concentrations of chemicals in the soil]. Utv. Glavnym sanitarnym vrachom RF 18.05.2009. Izd. ofic. Moscow, IIC Minzdrava Rossii, 2009. 3 p. [in Russian].
10. Fedorets N. G., Bakhmet O. N., Solodovnikov A. N., Morozov A. K. Pochvy Karelii: geohimicheskij atlas. [Soils of Karelia: Geochemical Atlas]. Moscow, Nauka, 2008. 47 p. [in Russian].
11. GOST 14.4.2.01—81 (ST SEV 4470—84). "Ohrana prirody. Pochvy. Nomenklatura pokazatelej sanitarnogo sostoyaniya". [Protection of Nature. The soil. Nomenclature of health indicators]. Moscow, Gosstandart. 1981 [in Russian].
12. GOST 17.4.4.02—84 "Ohrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya himicheskogo, bakteriologicheskogo i gel'mintologicheskogo analiza". [Protection of Nature. The soil. Sampling and sample preparation methods for chemical, bacteriological and helminthological analysis]. Moscow, Gosstandart. 1984 [in Russian].
13. Novikov S. G. Ocenka zagryazneniya tyazhelymi metallami pochv razlichnykh kategorij zemlepol'zovaniya na territorii goroda Petrozavodsk. [Assessment of heavy metal contamination in soils of different land use type in Petrozavodsk]. Trudy KarNC RAN. No. 1. Ser. Ekologicheskie issledovaniya. 2015. P. 78—85 [in Russian].