

УДК 631.412: 631.442.1

DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-55-82



Ссылки для цитирования:

Новиков С.Г., Медведева М.В., Пеккоев А.Н., Тимофеева В.В. Диагностика почв, расположенных в градиенте урботехногенного воздействия // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2021. Вып. 108. С. 55-82. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-55-82

Cite this article as:

Novikov S.G., Medvedeva M.V., Pekkoiev A.N., Timofeeva V.V., Diagnostics of soils located in the gradient of urban-technogenic impact, Dokuchaev Soil Bulletin, 2021, V. 108, pp. 55-82, DOI: 10.19047/0136-1694-2021-108-55-82

Благодарность:

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

Acknowledgments:

The studies were carried out with the financial support of the federal budget within the framework of state assignment of the Forest Research Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences.

Диагностика почв, расположенных в градиенте урботехногенного воздействия

© 2021 г. С. Г. Новиков*, М. В. Медведева,
А. Н. Пеккоев, В. В. Тимофеева

*Институт леса КарНЦ РАН,
ФИЦ “Карельский научный центр РАН”, Россия,
185910, Республика Карелия, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11,
[*https://orcid.org/0000-0003-2387-2656](https://orcid.org/0000-0003-2387-2656),
e-mail: novikovsergey.nsg@gmail.com.*

*Поступила в редакцию 22.03.2021, после доработки 24.06.2021,
принята к публикации 20.09.2021*

Резюме: В настоящее время на фоне высоких темпов урбанизации происходит сокращение экологически ценных земель лесного фонда. Граничащие с городской территорией лесные экосистемы в результате интенсивной застройки подвергаются мощному техногенному воздействию и со временем необратимо деградируют. В этой связи работа в области анализа экологического состояния основных

компонентов лесных экосистем, находящихся в условиях техногенного пресса различной интенсивности, является актуальной. Исследование проводилось на территории города Петрозаводска на участках с разрушенной, слабо нарушенной и ненарушенной лесной экосистемой. На каждом участке проводили оценку состояния почв, описание древостоя и живого напочвенного покрова. На основании полученных данных установили, что почвы слаборазрушенной лесной экосистемы соответствуют естественным фоновым (подзол иллювиально-железистый). Выявлены изменения их морфологических и химических свойств по сравнению с почвами контрольной ненарушенной территории. Установили изменение мощности и зольности верхнего органогенного горизонта почв слаборазрушенного участка. Лесная экосистема находится на переходной от I–II к III стадии рекреационной депрессии и нуждается в благоустройстве. На участке, разработанном под застройку, произошло разрушение лесной экосистемы. В результате необратимой трансформации природной среды древесная и напочвенная растительность отсутствует. Естественные зональные почвы уничтожены, диагностические горизонты не определяются. По всей глубине разреза наблюдается большое количество камней, антропогенных включений. В соответствии с Классификацией почв России, данные образования относятся к подгруппе органолитостратов техногенных поверхностных образований. Полученные данные являются основой при проведении урбоэкологического мониторинга почв. По результатам исследования даны рекомендации для сохранения и улучшения санитарно-гигиенических и эстетических функций лесных массивов, прилегающих к землям городской застройки.

Ключевые слова: урбанизация, лесная экосистема, городские почвы, свойства почв, техногенные поверхностные образования.

Diagnostics of soils located in the gradient of urban-technogenic impact

© 2021 S. G. Novikov*, M. V. Medvedeva, A. N. Pekkoev,
V. V. Timofeeva

*Forest Research Institute of the Karelian Research Centre
of the Russian Academy of Sciences,
11 Pushkinskaya str., Petrozavodsk 185910,
Republic of Karelia, Russian Federation,*

*<https://orcid.org/0000-0003-2387-2656>,
e-mail: novikovsergey.nsg@gmail.com.

Received 22.03.2021, Revised 24.06.2021, Accepted 20.09.2021

Abstract: The rapidly progressing urbanization results in decline of environmentally valuable forest territory. Intact ecosystems bordering urban communities suffer from heavy technogenic pressure and degrade irreversibly over time. This situation necessitates studies that analyze the ecological condition of major components of forest ecosystems exposed to various levels of such pressure. The survey was carried out in the city of Petrozavodsk in sites with degraded, slightly disturbed, and undisturbed forest ecosystems. For each site, the soil condition was assessed, the tree stand and the living ground cover were described. As a result, it was found that soils in the slightly disturbed forest ecosystem generally corresponded to the natural background (Ferric Illuvial Podzol). Changes in their morphological and chemical properties compared to soils in the undisturbed reference plot were identified. The thickness and ash content of the upper organic horizon in the slightly disturbed site changed. The forest ecosystem was in the transitional stage (from I–II to III) of recreational digression and required infrastructural improvements. The forest ecosystem in the built-up site was totally destroyed. Irreversible transformation of its natural environment resulted in the loss of woody and ground vegetation. The native zonal soils were ruined, and their diagnostic horizons cannot be identified. There was observed a large amount of rocks and anthropogenic inclusions throughout the profile. According to the Russian soil classification, these formations belong to the subgroup of organo-mineral strata of technogenic surface formations. The collected data can be used as the basis for ecological monitoring of urban soils. Based on the findings, recommendations were given on how to conserve and improve the sanitary and esthetic functions of forest areas adjoining urban built-up land.

Keywords: urbanization, forest ecosystem, urban soils, soil properties, technogenic surface formations.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире довольно большими темпами происходит увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду. Интенсивная застройка, промышленная деятельность способствуют расширению урбанизированных территорий, в то время как площадь экологически ценных земель, входящих в лесной фонд, сокращается. Лесные экосистемы на границе с городом, как правило, испытывают сильное техногенное воздействие, не успевают

перестроиться и со временем необратимо деградируют. В этой связи исследование влияния антропогенного пресса на лесные сообщества позволяет оценить экологическую обстановку на урбанизированных территориях, а также планировать мероприятия, позволяющие снизить техногенную нагрузку на окружающую среду.

Почва является одним из главных компонентов экосистемы. Изменение свойств почв на фоне урбанистического пресса становится причиной ухудшения условий произрастания зеленых насаждений, которые очищают воздух от пыли и вредных газов, снижают уровень шума и электромагнитного излучения, создают особый микроклимат, благоприятно влияющий на здоровье и эмоциональное состояние людей ([Сорокина, Богачкова, 1991](#); [Burghardt, 1994](#); [Luo et al., 2011](#)). При проведении инженерно-строительных работ на территории города необходимо в максимальной степени учитывать особенности рельефа и эдафические условия произрастания фитоценоза. Это важно для обеспечения устойчивости почв в урболандшафте, а также поддержания их способности предоставлять экосистемные услуги, выполнять важные экологические и санитарно-гигиенические функции ([Pavao-Zuckerman, 2008](#); [Soils within Cities, 2017](#); [Васенев и др., 2018](#); [Da Silva et al., 2018](#); [Li et al., 2018](#); [O’Riordan et al., 2021](#)).

Одним из комбинированных видов антропогенного воздействия на природную среду является урбанизация, наряду с которой проявляются процессы субурбанизации и рурбанизации ([Почва. Город. Экология, 1997](#); [Коломыц и др., 2000](#); [Лесные экосистемы..., 2008](#); [Shi et al., 2012](#)). Субурбанизация – это развитие пригородной зоны крупных городов, в результате чего образуются агломерации, а рурбанизация – это перенос городских форм и условий жизни на сельскую местность. Расширение городской территории – это сложный процесс, сопряженный с увеличением антропогенной нагрузки на природную среду, поэтому он требует решения целого ряда правовых и юридических вопросов. В Российской Федерации перевод земель лесного фонда в земли городской застройки регулируется соответствующим Федеральным законом “О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую” от 21.12.2004 N 172-ФЗ. Вместе с тем есть про-

блемы в области экологического законодательства РФ, которые связаны с разобщенностью теории и практики, с разрывом между планами хозяйственной деятельности и их осуществлением. Поэтому критериальная база законов об охране окружающей среды должна в обязательном порядке основываться на экспертных оценках специалистов и на объективном научном заключении об экологическом состоянии территории, выделяемой для расширения инфраструктуры города. В этой связи целью данного исследования являлась диагностика состояния и свойств почв, находящихся в условиях техногенного пресса различной интенсивности. Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи: 1) Оценить состояние древостоя на исследуемых участках. 2) Дать характеристику состояния живого напочвенного покрова, сформировавшегося в условиях урбанизации. 3) Оценить современное состояние почв, находящихся в условиях техногенного пресса. 4) Дать рекомендации по улучшению санитарно-гигиенических показателей и эстетических функций исследуемой территории.

Ранее на территории города Петрозаводска проводились исследования отдельных свойств почв ([Федорец, Медведева, 2005](#); [Новиков, 2015](#); [Медведева, Новиков, 2015](#)). Данная работа является логичным продолжением исследований влияния урбанизации на природную среду. Полученные результаты могут быть использованы при проведении почвенно-картографических работ, урбо-экологическом мониторинге природной среды, а также стать основой для разработки общих рекомендаций, направленных на оздоровление и сохранение окружающей среды.

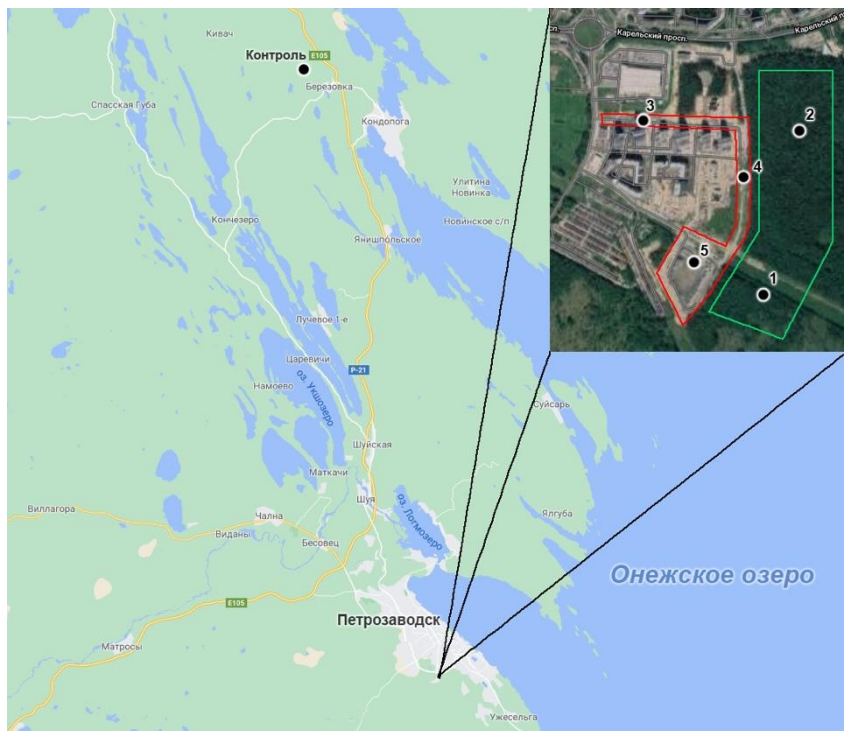
ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в среднетаежной подзоне Карелии, на территории г. Петрозаводска (61°47'46" N; 34°20'57" E), которая находится на восточной окраине Балтийского кристаллического щита. Город расположен на западном террасированном склоне Петрозаводской губы Онежского озера в пределах полупогребенной тектонической депрессии ([Путеводитель экскурсий, 1982](#)). Климат данной местности умеренно-континентальный, в среднем выпадает до 650 мм осадков в год. Преобладающими вет-

рами являются юго-западные и северо-восточные. Средняя годовая температура воздуха составляет +2.2 °С ([Климат..., 1982](#)). Изменение температуры на поверхности почвы в течение года значительно больше, чем воздуха. Средняя месячная температура поверхности почвы в январе – феврале равна –11 °С, в июле – +19 °С. Основными лесобразующими породами пригородных лесов являются типичные для среднетаежной подзоны Карелии сосна и ель. На территории города много искусственных насаждений – парков, скверов, аллей, доминирующими породами в которых являются береза, клен, липа, тополь ([Лантратова и др., 2003](#)). Важной особенностью города является сохранение в пределах городской черты крупных лесных массивов. Они образуют внутриквартальные куртины леса и “зеленый пояс” лесов по периметру города ([Ольхин, Ольхина, 2008](#)). Согласно Постановлению Законодательного Собрания Республики Карелия ([Постановление..., 2018](#)), в соответствии с пунктом 6 статьи 622 Федерального закона от 10 января 2002 года № 7-ФЗ “Об охране окружающей среды”, существует перечень территорий, включенных в лесопарковый зеленый пояс вокруг города Петрозаводска. Эти территории созданы в целях реализации права каждого гражданина на благоприятную окружающую среду и являются зонами с ограниченным режимом природопользования и иной хозяйственной деятельности.

Комплексное исследование влияния комбинированного антропогенного воздействия на экосистемы проводили в лесном массиве, примыкающем к городской застройке и расположенном на окраине планировочного района Кукковка (61°45'16.7" N 34°21'54.8" E) (рис. 1). Данный участок, площадью 55 000 м², интересен тем, что с 2008 г. он был включен в Генеральный план г. Петрозаводска, после чего началась его интенсивная застройка, т. е. процесс субурбанизации. В июле 2016 г., по решению Верховного суда Республики Карелия, ряд участков, включая исследуемый, были переведены обратно в земли лесного фонда. Однако эксплуатируемые в течение более 8 лет территории резко изменили свои экологические функции в урбоэкосистеме. Поэтому возникла необходимость провести анализ природной среды исследуемого участка. В данном лесном массиве было заложено два проб-

ных участка, испытывающих различную степень антропогенного воздействия. В соответствии со шкалой экологической нарушенности лесных экосистем и почвенного покрова (Бабинцева и др., 2008) участки были индцированы как полностью разрушенный и слаборазрушенный.



— разрушенная лесная экосистема; — слаборазрушенная лесная экосистема; ● место расположения почвенного разреза

Рис. 1. Схема расположения участка исследования (картографические данные © Google 2021).

Fig. 1. Study area map (© Google 2021).

Разрушенная лесная экосистема. Данный участок представляет собой систему отдельных, горизонтально и вертикально антропогенно нарушенных возвышенностей и депрессий (рис. 2А).



А)



Б)

Рис. 2. Изменение лесных экосистем на фоне антропогенного воздействия: **А)** – разрушенная лесная экосистема; **Б)** – слаборазрушенная лесная экосистема.

Fig. 2. Forest ecosystem change under human impact

Макрорельеф изучаемого участка равнинный. Формирование мезо- и микрорельефа обусловлено антропогенным воздействием на данную территорию: влиянием строительной техники, порубочными остатками деревьев, строительным мусором и пр.

Талые воды, образуя многочисленные ручьи, запруды, создают сезонную гипертрофию водного режима. Древостой и живой напочвенный покров полностью отсутствуют. Каменистость почвообразующей породы обуславливает распространение блюдцеобразных впадин и каменистых обнажений. Территория участка характеризуется значительной гетерогенностью почвенного покрова и представляет собой многочисленные ареалы антропогенно трансформированных почв, турбированных техникой на глубину от 50 см и глубже.

Слабонарушенная лесная экосистема. Участок расположен за пределами разработанной под застройку территории. Естественная древесная и напочвенная растительность сохранена, лесная подстилка вытоптана локально, сформирована редкая тропичная сеть (рис. 2Б).

В качестве контроля (*ненарушенная лесная экосистема*) использовали близкий по экологическим характеристикам участок ельника черничного, расположенный в среднетаежной подзоне Карелии ([Федорец, Морозова, 2009](#)).

Так как обследуемый участок леса был вовлечен в активную хозяйственную деятельность (жилая застройка), возникла необходимость оценки состояния древесного яруса, напочвенного покрова и почв на предмет биологической (охраняемые виды живых организмов) и рекреационной ценности данной территории.

На опытных участках проводили описание древостоя, живого напочвенного покрова. На каждом участке закладывали разрезы почв, делали их морфологическое описание, из генетических горизонтов отбирали образцы на химические анализы. В случае участка с разрушенной лесной экосистемой, в которой почвенный профиль антропогенно трансформирован, отбор почв проводился с различных глубин с шагом 10 см. Определение химических показателей в отобранных образцах выполнено на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”. Используемые в работе методы и изученные характеристики лесных фитоценозов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Оцениваемые параметры и методы, используемые в работе
Table 1. Parameters assessed and methods used

Оцениваемые параметры, методы	Литература, оборудование
Растительный покров	
Геоботаническое описание растительности	Сукачев, Зонн, 1961 ; Полевая геоботаника, 1964
Закладка пробных площадок и отбор почвенных образцов для анализов	ГОСТ 17.4.3.01-2017
Инструментальная таксация древостоя. Общие принятые методы таксации	Общепринятые методы таксации (Наставления..., 1993)
Рекреационная дигрессия живого напочвенного покрова	Россомахин, 1978 ; Полякова и др., 1981 ; Рысин, 1987
Эколого-рекреационная оценка лесов (категории санитарно-гигиенической оценки ландшафтов, классы эстетической оценки ландшафтов и др.)	Моисеев и др., 1977 ; Моисеев и др., 1990
Почва	
Таксономическая принадлежность почв	Классификация и диагностика почв России, 2004
Морфологическое описание почв	Федорец, 2010
Гранулометрический состав почв	Лазерный анализатор частиц “LS 13 320” компании BECKMAN COULTER
рН водной вытяжки; потенциометрический метод	рН-метр HANNA, (Германия); ГОСТ 26423-85
Зольность, ППП (потеря при прокаливании); сжигание в муфеле	ГОСТ 27784-88
Содержание общего углерода и азота	CHNS/O analyzer, Perkin Elmer PE 2400 Series II (США)

Обследуемые территории характеризуются однородными почвами в отношении почвообразующей породы, представленной завалунными двучленными отложениями – песками, подстилаемыми в пределах метра суглинками. Это позволило провести сравнительный анализ природной среды, подверженной антропогенному воздействию, и корректно экстраполировать полученные данные на почвы прилегающих территорий. Данная почвообразующая порода является нетипичной для Республики Карелия, однако встречается на территории города Петрозаводска ([Яшин и др., 2011](#)).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенно-экологическая оценка ненарушенного участка. На обследованной территории произрастает ельник черничный, возрастом 110–120 лет. Таксационная характеристика древостоя приведена в таблице 2. Он представлен чистым еловым древостоем (10Е) 120-летнего возраста. Класс бонитета – III. Древостой имеет относительную полноту 0.8, средний диаметр деревьев ели – 19.0 см, средняя высота – 20.9 м.

Таблица 2. Характеристика древостоя на обследуемой территории
Table 2. Characteristics of the tree stand in the study area

Тип леса	Состав древостоя	Возраст, лет	Средние		Полнота	Класс бонитета
			Диаметр, см	Высота, м		
Ненарушенная лесная экосистема, контроль						
Е. чер.	Е10	120	19.0	20.9	0.8	III
Слабонарушенная лесная экосистема						
Е. чер.	5Е	110	24	22	0.6	II
	3Ос	55	28	22		
	2Б	50	20	18		

Общее проективное покрытие (ОПП) живого напочвенного покрова (ЖНП) контрольного участка составляет 60–70%. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют лесные кустарнички *Vaccinium myrtillus* (ОПП – 30–40%) и *Vaccinium vitis-idaea* (ОПП – 2–3%). Покрытие других лесных видов сосудистых растений незначительно – в сумме не более 3–5% (*Goodyera repens*, *Luzula pilosa*, *Majanthemum bifolium*, *Platanthera bifolia*, *Rubus saxatilis*, *Trientalis europaea*). Мохово-лишайниковый ярус сложен преимущественно зелеными мхами *Pleurozium schreberi* и *Hylocomium splendens* (ОПП в сумме до 60%).

Почвенный разрез заложен в чернично-брусничной микрогруппировке и представлен характерной для среднетаежной подзоны Карелии почвой Al-Fe-гумусового генезиса. Почва – подзол иллювиально-железистый – имеет следующее морфологическое строение (рис. 3).

Почвенный разрез хорошо дифференцирован на отдельные генетические горизонты, которые отличаются между собой по цвету и степени каменистости. По всему профилю преобладает среднезернистый песок, однако в его нижней части возрастает содержание более мелких частиц. В таблице 3 представлены химические свойства подзола иллювиально-железистого. Верхние почвенные горизонты имеют кислую реакцию среды, с глубиной кислотность снижается. Содержание золы в лесной подстилке низкое и составляет 23.8%. В минеральной толще беззольная часть имеет крайне низкие значения, тенденция возрастания показателя отмечена в иллювиально-железистом горизонте. Распределение общего азота и углерода элювиально-иллювиальное, что отражает особенности почв данного генезиса. Для исследуемых почв молекулярное отношение C/N достигает в подподстилочных горизонтах 19, что свидетельствует об оптимальных эдафических условиях для развития микроорганизмов, обеспечивающих высокую продуктивную способность древостоя.

Почвенно-экологическая оценка участка со слабонарушенной лесной экосистемой. На данной территории произрастает елово-лиственный древостой (5E₁₁₀3Oc₅₅2Б₅₀), который характеризуется II классом бонитета и имеет относительную полноту 0.6. Средний диаметр еловой части древостоя составляет 24 см, а

средняя высота – 22 м (табл. 2).



Рис. 3. Подзол
иллювиально-железистый.
Fig. 3. Ferric Illuvial Podzol.

О – 0–5(11) см, лесная подстилка, бурого цвета, свежая, слоистая, обильно пронизана корнями, сложена остатками хвои, кустарничков, веток, корней, переход в нижележащий горизонт по цвету, граница перехода волнистая.

Е – 5(11)–11(25) см, серый, свежий, песчаный, много корней, уплотнен, в верхней части затеки гумуса, переход в нижележащий горизонт по цвету, граница перехода карманная.

BF – 11(25)–20(30) см, ржаво-бурый, свежий, песчаный, уплотненный, встречаются камни, хрящ, много тонких корней, переход в следующий горизонт по цвету, граница перехода размытая.

BF2 – 20(30)–31(36) см, ржавого цвета, свежий, песчаный, хорошо сортирован, уплотнен, корней мало, переход в следующий горизонт по степени каменистости, граница перехода размытая.

B3 – 31(36)–58 см, сероватого цвета, свежий, плохо сортирован (хрящевато-песчаный), много камней различного размера и разной степени окатанности, уплотнен, переход в следующий горизонт по цвету и гранулометрическому составу, граница перехода размытая.

С – 58–72 см, серого цвета, свежий, суглинок, более плотный, чем вышележащий горизонт, оструктурен.

Таблица 3. Химические свойства почв на обследуемой территории
Table 3. Chemical properties of soils in the study area

Горизонт / слой (см)	рН вод.	Зольность*, ППП	С	Н	С N
		%			
Ненарушенная лесная экосистема (контроль)					
Почва – подзол иллювиально-железистый					
О, 0–5(11)	4.8	23.8*	44.74	1.57	28.5
Е, 5(11)–11(25)	4.5	1.8	0.56	0.03	18.7
BF, 11(25)–20(30)	5.1	3.6	0.79	0.04	19.8
BF2, 20(30)–31(36)	5.4	2.1	0.31	0.03	10.3
В3, 31(36)–58	5.6	1.0	0.36	0.02	18.0
С, 58–72	6.2	1.1	0.21	0.02	10.5
Слабонарушенная лесная система					
Почва – подзол иллювиально-железистый					
О, 0–15	4.2	25.9*	32.81	1.27	25.8
Е, 15–25	4.9	2.4	0.30	0.03	10.0
BF, 25–38	5.1	1.9	0.72	0.02	36.0
BF2, 38–49	5.3	1.2	0.30	0.01	30.0
BC, 49–55	5.5	0.3	0.11	0.02	5.5
С, 55–65	5.6	1.8	0.17	0.01	17.0
Разрушенная лесная экосистема					
Почва – органолитострат					
1, 0–10	7.4	0.5	0.86	0.03	28.7
2, 10–20	7.7	1.3	0.96	0.02	48.0
3, 20–30	7.9	1.7	0.84	0.04	21.0
4, 30–40	7.8	3.3	2.19	0.08	27.4
5, 40–50	7.9	1.9	0.44	0.01	44.0

Подлесок развит умеренно и представлен типичными для подзоны средней тайги видами кустарников (*Juniperus communis*, *Rosa acicularis*, *Salix caprea*, *Sorbus aucuparia*).

Общее проективное покрытие живого напочвенного покрова на условно слабонарушенном участке ельника черничного в 2–3 раза ниже, по сравнению с ненарушенным (контрольным) участком, и составляет не более 25%. В травяно-кустарничковом ярусе выявлено 27 видов сосудистых растений; доминантами покрова являются *Vaccinium myrtillus* (ОПП 10–15%), *Calamagrostis arundinacea* (5–7), *Avenella flexuosa* (3–5), *Vaccinium vitis-idaea* (ОПП 2–3%). Покрытие других видов незначительно и в сумме составляет до 7% (*Angelica sylvestris*, *Calamagrostis phragmitoides*, *Carex globularis*, *Chamaenerion angustifolium*, *Cirsium palustre*, *Dryopteris carthusiana*, *Linnaea borealis*, *Luzula pilosa*, *Lycopodium annotinum*, *Orthilia secunda*, *Oxalis acetosella*, *Pyrola rotundifolia*, *Solidago virgaurea*, *Viola epipsila*, *Viola selkirkii*). Отличительной чертой ЖНП данного лесного участка является привнесение во флору опушечных и луговых видов, устойчивых к активной рекреации (*Agrostis capillaris*, *Coccyganthe flos-cuculi*, *Deschampsia cespitosa*, *Juncus effusus*, *Luzula pallidula*, *Tussilago farfara*, *Veronica chamaedrys*, *Veronica officinalis*).

Мохово-лишайниковый ярус представлен зелеными мхами (ОПП 15–25%). Основу покрова составляют *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens* и *Dicranum scoparium* со спорадическим вкраплением куртин *Polytrichum junipeinum*, *Ptilium crista-castrensis*, *Rhytidiadelphus triquetrus* и *Sphagnum girgensohnii*. Большая часть лесных сообществ в пределах рассматриваемого участка находится на I–II стадиях рекреационной дигрессии, при которых изменения лесной среды обратимы и выражаются, главным образом, в нерегулируемом вытаптывании и повреждении стволов деревьев. Фрагменты ельников, находящиеся на границе с застройкой, трансформированы в большей степени и находятся на III стадии рекреационной дигрессии. Здесь уже в настоящее время необходимы меры по регулированию рекреационной нагрузки, а именно – организация дорожно-тропиночной сети, которая ограничит бессистемное вытаптывание живого напочвенного покрова.

На слабонарушенной территории заложено два почвенных

разреза в чернично-зеленомошных микрогруппировках. Почва – подзол иллювиально-железистый на завалуненных двучленных отложениях: песках, подстилаемыми в пределах метра суглинками. Морфологический профиль почв имеет следующее строение (рис. 4).

Формирующиеся почвы на слабонарушенном участке имеют более мощную лесную подстилку по сравнению с контролем. Это может быть связано с увеличением количества поступающего в экосистему опада хвойных деревьев, представленного ветками, сучьями, хвоей, древесной ветошью. Также неблагоприятные эдафические условия для произрастания растений могут вызвать поступление корневого опада вечнозеленых кустарничков, корневые системы которых локализованы в подстилке. При данном уровне азотного баланса микробиота не может выполнять в полном объеме свои экологические функции, микробная трансформация органического вещества заторможена, происходит накопление лесных подстилок.

Химические свойства почв на слабонарушенной территории представлены в таблице 3. Исследуемые почвы характеризуются слабокислой реакцией: наиболее низкое значение рН в верхнем органогенном горизонте, с глубиной кислотность постепенно снижается. На обследуемом участке выявлена тенденция увеличения показателя зольности лесной подстилки. Являясь слоем детрита, она способна выполнять свои экологические функции. Однако при достижении зольности 50%, по классификации грунтов, лесная подстилка переходит в органоминеральный субстрат ([ГОСТ 25100-2020](#)). В этой связи необходимо наблюдать за данным показателем почв. В перераспределении беззольной компоненты в минеральной части профиля почв также были выявлены изменения, выражающиеся в снижении ее содержания.

В целом показатели рН, содержание элементов-биофилов, зольность отражают свойства почв данного типа, однако отмечена тенденция их изменения по сравнению с почвами контрольной ненарушенной территории.



Рис. 4. Подзол иллювиально-железистый (разрез № 1)
Fig. 4. Ferric Illuvial Podzol (soil pit No. 1)

О – 0–15 см, лесная подстилка, бурая, рыхлое сложение, опад растений находится на различных стадиях разложения, состоит из опада ели, шишек, сфагнового мха, разнотравья, отмерших веток и листьев кустарничков, горизонт густо пронизан корнями кустарничков, свежий, встречаются копролиты червей, переход в нижележащий горизонт по цвету и по плотности сложения, граница перехода в нижележащий горизонт затечная;

Е – 15–25 см, светло-серых тонов, самый светлоокрашенный горизонт в профиле почв, свежий, уплотнен, структурные агрегаты слабо сцементированные, однородный по цвету и структуре, песчаный, корней нет, переход постепенный по цвету, граница перехода размытая;

BF – 25–38 см, светло-коричневых тонов, свежий, песчаный, встречаются выходы корней, по всему горизонту мелкие камни, переход по цвету равномерный, граница перехода постепенная;

BF2 – 38–49 см, серо-коричневых тонов, свежий, песчаный, уплотненный, пронизан мелкими корнями растений, камни более крупных размеров, переход в нижележащий горизонт по цвету не ясный, граница перехода размытая;

BC – 49–55 см, переходный горизонт, темно-серый, влажный, уплотнен, по всему горизонту встречаются крупные камни, корней нет, ясный переход по цвету, граница перехода размытая;

С – 55–65 см и глубже, темно-серых тонов, сырой, суглинистый, более плотный, чем вышележащий горизонт, встречаются многочисленные ржавые пятна окиси железа по всей нижней части профиля почв, встречаются крупные камни.

Это свидетельствует, с одной стороны, о генетическом родстве исследуемых почв, а, с другой – об экологически неоднородных условиях вследствие антропогенного воздействия, в которых идет их формирование на современном этапе развития фитокомплекса.

Оценка эколого-рекреационного потенциала лесного массива показала, что обследуемый древостой нуждается в мероприятиях по улучшению санитарно-гигиенических и эстетических функций. Это предполагает создание дренажной канавы на границе древостоя, а также предотвращение эрозии почв около канавного пространства путем посадки устойчивых к эрозии древесных пород (сосна обыкновенная, различные виды ив), а также посева многолетних трав.

Почвенно-экологическая оценка участка с разрушенной лесной экосистемой. Территория обследуемого лесного участка характеризуется полным уничтожением древесной и напочвенной растительности. Почвенный покров в данном случае утратил свой первоначальный облик и представляет собой нарушенный профиль без отдельных генетических горизонтов – органолитострат (рис. 5). Разрезы заложены в различных частях участка, испытывающего максимальное антропогенное воздействие. В данном случае морфологическое описание и отбор почвенных образцов проводили по слоям.

Профиль органолитострата сформирован из отвалов естественных грунтов, образовавшихся при разработке данной территории под строительство (валка деревьев, выкорчевывание пней, вырубка кустов, удаление крупных валунов, выравнивание участка). Верхний органогенный горизонт полностью отсутствует. По всей глубине разреза наблюдали большое количество камней, антропогенных включений: бытовой и строительный мусор, остатки арматуры и другие техногенные артефакты. Также по профилю встречаются остатки лесной подстилки (черные комки органической массы), которые в результате проведения строительных работ перемешаны с минеральной толщей. На глубине 60–70 см была обнаружена верховодка.



Рис. 5. Органолитострат
(разрез № 5)

Fig. 5. Organolitostrat
(soil pit No. 5)

0–10 см, темно-коричневых тонов, свежий, рыхлый, бесструктурный, песчаный, корней нет, мелкие камни встречаются в верхней части профиля;

10–20 см, темно-коричневый, свежий, рыхлый, бесструктурный, песчаный, нет корней, остатки строительного мусора (битый кирпич);

20–30 см, светло- и темно-коричневых тонов, свежий, рыхлый, бесструктурный, песчаный, корни мертвой растительности, остатки строительного мусора (битый кирпич);

30–40 см, светло- и темно-коричневых тонов, сырой, рыхлый, бесструктурный, песчаный, корней нет, камни и валуны различных размеров, угли, черные включения органической массы;

40–50 см, светло- и темно-коричневых тонов, мокрый, рыхлый, бесструктурный, суглинистый, корни мертвых растений, камни различных размеров.

Органолитострат на обследуемом участке характеризуется слабощелочной реакцией среды (табл. 3), что свидетельствует об отсутствии влияния биотической компоненты на почвообразовательный процесс. Подщелачивание почв обусловлено, возможно, осаждением строительной пыли, содержащей карбонаты кальция и магния. Монотонный характер распределения по глубине показателя зольности указывает на техногенный характер происхождения профиля.

Невысокое содержание углерода и азота, вызванное отсут-

ствием, как отмечено выше, древостоя и растений напочвенного покрова, свидетельствует о невысокой трофообеспеченности грунта. Однако на глубине 30–40 см выявлено увеличение содержания углерода до 3.3%. Это связано с импрегнацией органического вещества, представленного, как было упомянуто ранее, остатками лесной подстилки, древесной ветошью. При уплотнении горизонтов, отсутствии кислорода, изменении окислительно-восстановительного потенциала педосферы органическое вещество могло быть законсервировано в нижних горизонтах и не вовлекаться в общий круговорот веществ.

В целом исследуемые почвы до вовлечения их в хозяйственную деятельность обладали достаточно мощным слоем лесной подстилки (O), высоким содержанием органического вещества, что обеспечивало развитие высокопродуктивного древостоя. В настоящее время естественный почвенный покров полностью нарушен. Обнажение почвообразующей породы, упрощение морфологического строения и снижение плодородия почв в данном случае является следствием антропогенеза, что приводит к деградации природной среды.

На территории Карелии зональными почвами являются почвы Al-Fe-гумусового генезиса, которые постоянно подвергаются природно-антропогенному воздействию (урбанизация, вырубки, пожары и пр.), в результате чего нарушается их естественное морфологическое строение. По данному критериальному признаку такие антропогенно нарушенные почвы в современной Классификации почв России ([Классификация..., 2004](#)) в зависимости от интенсивности и характера техногенного воздействия могут быть отнесены к антропогенно-преобразованным почвам или техногенным поверхностным образованиям. Исследованные почвы на участке с разрушенной лесной экосистемой, минуя стадию антропогенно-преобразованных почв, трансформировались в техногенные поверхностные образования. Естественное восстановление таких почв проходит достаточно медленно, однако, при соблюдении рекомендаций по охране природной среды процесс реабилитации можно ускорить.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фоновые почвы ненарушенных лесных экосистем представлены подзолами иллювиально-железистыми, сформировавшимися под еловыми древостоями. Они выполняют свои экологические функции, обеспечивая высокую продуктивность древесных насаждений. Лесные массивы, примыкающие к исследуемой антропогенно нарушенной территории, представлены ево-лиственными древостоями. Большинство из них находится на переходной от I–II к III стадии рекреационной дигрессии и уже в настоящее время нуждается в благоустройстве (создании оборудованной дорожно-тропиночной сети), которое обеспечит сохранность естественной структуры фитоценозов и увеличит их способность к выполнению защитных и эстетических функций. Почвы слабонарушенных участков леса обладают комплексом свойств, с одной стороны, характерных для фоновых региональных почв (сильная каменистость, кислая реакция среды, легкий гранулометрический состав, невысокое содержание органического вещества), с другой стороны, отличающихся некоторыми специфическими особенностями, обусловленными антропогенным воздействием (изменение мощности и зольности лесной подстилки). Так на выделенных под строительство участках, где на момент проведения исследования лесная экосистема была разрушена, естественные зональные почвы полностью уничтожены, свойственные им генетические горизонты не диагностируются. По своим основным морфологическим и химическим свойствам данные образования, в соответствии Классификацией почв России ([Классификация..., 2004](#)), отнесены к подгруппе органолисторатов техногенно поверхностных образований.

Для улучшения санитарно-гигиенических и эстетических функций лесного массива, прилегающего к обследуемой территории, можно рекомендовать создание дренажной канавы на границе древостоя. С целью предотвращения эрозии почв околосановного пространства следует запланировать мероприятия по созданию посадок, состоящих из устойчивых к эрозии древесных пород (сосна обыкновенная, различные виды ив). Также в качестве одной из действенных мер по восстановлению нарушенной террито-

рии можно рекомендовать посев многолетних трав, корневые системы которых способны закреплять почву, а наличие пожнивных остатков позволит изменить направление микробиологических внутрипочвенных процессов, повышающих плодородие почв. Это обеспечит оптимизацию состояния фитоценоза, гомеостаз всей урбоэкосистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабинцева Р.М., Горбачев В.Н., Лебедева А.А.* Применение методов картографии при планировании и ведении лесопаркового хозяйства // Известия ОГАУ. 2008. № 19–1. С. 45–48.
2. *Васенев В.И., Ван Ауденховен А.П., Ромзайкина О.Н., Гаджиагаева Р.А.* Экологические функции и экосистемные сервисы городских и техногенных почв: от теории к практическому применению (обзор) // Почвоведение. 2018. № 10. С. 1177–1191.
3. *ГОСТ 17.4.3.01-2017* Охрана природы (ССОП). Почвы. Общие требования к отбору проб.
4. *ГОСТ 25100-2020* Межгосударственный стандарт. Грунты. Классификация.
5. *ГОСТ 26423-85* Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
6. *ГОСТ 27784-88* Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв.
7. *Климат Петрозаводска* / ред. Ц.А. Швер. Л., 1982. 210 с.
8. *Коломыц Э.Г., Розенберг Г.С., Глебова О.В., Сурова Н.А., Сидоренко М.В., Юнина В.П.* Природный комплекс большого города: ландшафтно-экологический анализ. М.: Наука; МАИК “Наука/Интерпериодика”, 2000. 286 с.
9. *Лантратова А.С., Ициксон Е.Е., Марковская Е.Ф., Куспак Н.В.* Сады и парки в истории Петрозаводска. Петрозаводск: ПетроПресс, 2003. 160 с.
10. *Лесные экосистемы и урбанизация* / ред. Л.П. Рысин. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 226 с.
11. *Медведева М.В., Новиков С.Г., Федорец Н.Г.* Экологическая оценка состояния почв промышленной зоны города Петрозаводска // Проблемы региональной экологии. 2015. № 2. С. 6–10.
12. *Моисеев В.С., Тюльпанов Н.М., Яновский Л.Н.* Ландшафтная таксация и формирование насаждений пригородных зон. Л.: Стройиздат, 1977. 224 с.

13. *Моисеев В.С., Яновский Л.Н., Максимов В.А.* Строительство и реконструкция лесопарковых зон: на примере Ленинграда. Л.: Стройиздат, 1990. 288 с.
14. Наставления по отводу и таксации лесосек в лесах Российской Федерации. М., 1993. 71 с.
15. *Новиков С.Г.* Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв различных категорий землепользования на территории города Петрозаводска // Труды КарНЦ РАН. № 1. Сер. Экологические исследования. 2015. С. 78–85. DOI: [10.17076/eco23](https://doi.org/10.17076/eco23).
16. *Ольхин Ю.В., Ольхина Е.С.* Рост вегетативных органов *Picea abies* (L.) Karst под влиянием рекреации в различных условиях произрастания // Resources and Technology. 2008. Т. 7. С. 89–92.
17. Полевая геоботаника. М., 1964. Т. 3. 530 с.
18. *Полякова Г.А., Малышева Т.В., Флеров А.А.* Антропогенное влияние на сосновые леса Подмосквья. М.: Наука, 1981. 144 с.
19. Постановление Законодательного Собрания Республики Карелия от 19 апреля 2018 года N 643-VI ЗС О создании лесопаркового зеленого пояса вокруг города Петрозаводска и о его площади. URL: <http://ecology.gov.karelia.ru/about/6871/>.
20. Почва. Город. Экология / ред. Г.В. Добровольский, М.Н. Строганова. М.: Фонд “За экономическую грамотность”, 1997. 320 с.
21. Путеводитель экскурсий. Карелия. Межд. союз по изучению четвертичного периода. XI конгресс. М., 1982. 47 с.
22. *Россомахин В.И.* Рекреационное использование пригородных лесов г. Ленинграда // Лесохозяйственная информация, ЦБНТИлесхоз. № 7. М., 1978. 7 с.
23. *Рысин Л.П.* Рекреационные леса и проблема оптимизации рекреационного лесопользования // Рекреационное лесопользование в СССР. М.: Наука, 1983. С. 5–20.
24. *Сорокина Е.П., Богачкова Б.И.* Анализ состояния здоровья населения промышленного города в связи с техногенным загрязнением городской территории // Эколого-геохимический анализ техногенного загрязнения. М.: ИМ-ГРЭ, 1991. С. 158–161.
25. *Сукачев В.Н., Зонн С.В.* Методические указания к изучению типов леса. М., 1961. 144 с.
26. *Федорец Н.Г.* Полевая практика по лесному почвоведению для студентов лесохозяйственных специальностей (учебно-методическое пособие). Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2010. 56 с.
27. *Федорец Н.Г., Медведева М.В.* Экологическая оценка состояния почв города Петрозаводска. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. 96 с.

28. Федорец Н.Г., Морозова Р.М. Трансформация минеральных веществ и ее роль в формировании почвенного плодородия // Эколого-геохимические и биологические закономерности почвообразования в таежных лесных экосистемах: Сб. статей. Петрозаводск, 2009. С. 8–17.
29. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
30. Яшин И.М., Кузнецов П.В., Петухова А.А. Экологическая оценка почв и лесопарков фаций Петрозаводска // Известия ТСХА. Вып. 4. 2011. С. 30–43.
31. Burghardt W. Soils in urban and industrial environments // Z. Pflanzenernahr. Bodenkd. 1994. Vol. 157. P. 205–214. DOI: [10.1002/jpln.19941570308](https://doi.org/10.1002/jpln.19941570308).
32. Da Silva R.T., Fleskens L., Van Delden H., Van Der Ploeg M. Incorporating soil ecosystem services into urban planning: status, challenges and opportunities // Landscape Ecol. 2018. Vol. 33. Iss. 7. P. 1087–1102.
33. Li G., Sun G.X., Ren Y., Luo X.S., Zhu Y.G. Urban soil and human health: a review // Eur. J. Soil Sci. 2018. Vol. 69. Iss. 1. P. 196–215.
34. Luo X., Yu S., Li X. Distribution, availability, and sources of trace metals in different particle size fractions of urban soils in Hong Kong: implications for assessing the risk to human health // Environmental Pollution. 2011. Vol. 159. No. 5. P. 1317–1326. DOI: [10.1016/j.envpol.2011.01.013](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.013).
35. O’Riordan R., Davies J., Stevens C., Quinton J.N., Boyko C. The ecosystem services of urban soils: A review // Geoderma. 2021. Vol. 395. 115076. DOI: [10.1016/j.geoderma.2021.115076](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115076).
36. Pavao-Zuckerman M.A. The Nature of Urban Soils and Their Role in Ecological Restoration in Cities // Restoration Ecology. 2008. No. 4. P. 642–649. DOI: [10.1111/j.1526-100X.2008.00486.x](https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00486.x).
37. Shi B., Tang C.-S., Gao L., Liu Ch., Wang B.-J. Observation and analysis of the urban heat island effect on soil in Nanjing, China // Environmental Earth Sciences. 2012. Vol. 67. Iss. 1. P. 215–229.
38. Soils within Cities. Global approaches to their sustainable management – composition, properties, and functions of soils of the urban environment / eds. Levin M.J., Kim K.-H.J., Morel J.L., Burghardt W., Charzynski P., Shaw R.K. Schweizerbart Science Publ., 2017. 253 p.

REFERENCES

1. Babintseva R.M., Gorbachev V.N., Lebedeva A.A., Primenenie metodov kartografii pri planirovanii i vedenii lesoparkovogo khozyaistva (Application

- of cartographic methods in planning and maintaining forest parks), *Izvestiya OGAU*, 2008, No. 19–1, pp. 45–48.
2. Vasenev V.I., Romzaykina O.N., Hajiaghaeva R.A., Van Oudenhoven A.P.E., The ecological functions and ecosystem services of urban and technogenic soils: from theory to practice (a review), *Eurasian soil science*, 2018, Vol. 51(10), pp. 1119–1132, DOI: [10.1134/S1064229318100137](https://doi.org/10.1134/S1064229318100137).
 3. State Standard, GOST 17.4.3.01-2017 Nature Conservation (SSOP). Soils. General requirements for sampling.
 4. State Standard, GOST 25100-2020 Interstate standard. Soils. Classification.
 5. State Standard, GOST 26423-85 Soils. Methods for determination of electrical conductivity, pH and solid residue of aqueous extract.
 6. State Standard, GOST 27784-88 Soils. Method for determining the ash content of peat and peat soil horizons.
 7. Shver Ts.A. (Ed.), *Climate of Petrozavodsk*, Leningrad, 1982, 210 p.
 8. Kolomyts E.G., Rosenberg G.S., Glebova O.V., Surova N.A., Sidorenko M.V., Yunina V.P., *Prirodnyi kompleks bol'shogo goroda: Landshaftno-ekologicheskii analiz* (Natural complex of a big city: Landscape-ecological analysis), Moscow: Nauka; MAIK "Nauka/Interperiodika", 2000, 286 p.
 9. Lantratova A.S., Itsikson E.E., Markovskaya E.F., Kuspak N.V., *Sady i parki v istorii Petrozavodska* (Gardens and parks in the history of Petrozavodsk), Petrozavodsk: PetroPress, 2003, 160 p.
 10. Rysin L.P. (Ed.), *Lesnye ekosistemy i urbanizatsiya* (Forest ecosystems and urbanization), Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008, 226 p.
 11. Medvedeva M.V., Novikov S.G., Fedorets N.G., *Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya pochv promyshlennoi zony goroda Petrozavodska* (Ecological assessment of soils in the industrial zone of the city of Petrozavodsk), *Problemy regional'noi ekologii*, 2015, No. 2, pp. 6–10.
 12. Moiseev V.S., Tyulpanov N.M., Yanovskiy L.N., *Landshaftnaya taksatsiya i formirovanie nasazhdenii prigorodnykh zon* (Landscape taxation and the formation of plantings in suburban areas), Leningrad: Stroyizdat, 1977, 224 p.
 13. Moiseev V.S., Yanovsky L.N., Maksimov V.A., *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya lesoparkovykh zon: na primere Leningrada* (Construction and reconstruction of forest park zones: the case of Leningrad), Leningrad: Stroyizdat, 1990, 288 p.
 14. Instructions on Allocation and Taxation of Cutting Areas in the Forests of the Russian Federation, Moscow, 1993, 71 p.

15. Novikov S.G., Assessment of heavy metal contamination in soils of different land use types in Petrozavodsk, *Trudy KarNTs RAN*, 2015, No. 1, Ser. Ekologicheskie issledovaniya, pp. 78–85, DOI: [10.17076/eco23](https://doi.org/10.17076/eco23).
16. Olkhin Yu.V., Olkhina E.S., Growth of vegetative organs of *Picea abies* (L.) Karst under the influence of recreation in different growing conditions, *Resources and Technology*, 2008, Vol. 7, pp. 89–92.
17. *Field geobotany*, Moscow, 1964, Vol. 3, 530 p.
18. Polyakova G.A., Malysheva T.V., Flerov A.A., *Antropogennoe vliyanie na sosnovye lesa Podmoskov'ya* (Anthropogenic influence on the pine forests of the Moscow region), Moscow: Nauka, 1981, 144 p.
19. Resolution of the Legislative Assembly of the Republic of Karelia of April 19, 2018 N 643-VI 3C On the creation of a forest-park green belt around the city of Petrozavodsk and its area, URL: <http://ecology.gov.karelia.ru/about/6871/>.
20. Dobrovolsky G.V. (Ed.), *Pochva. Gorod. Ekologiya* (Soil, City, Ecology), Moscow: Fond “Za ekonomicheskuyu gramotnost’”, 1997, 320 p.
21. *Putevoditel' ekskursii. Kareliya* (Excursion guide. Karelia. International Union for the Study of the Quaternary), XI Congress, Moscow, 1982, 47 p.
22. Rossomakhin V.I., *Rekreatsionnoe ispol'zovanie prigorodnykh lesov g. Leningrada* (Recreational use of the suburban forests of Leningrad), *Lesokhozyaistvennaya informatsiya, TsBNTIleskhoz*, Moscow, 1978, No. 7, 7 p.
23. Rysin L.P., *Rekreatsionnye lesa i problema optimizatsii rekreatsionnogo lesopol'zovaniya* (Recreational forests and the problem of optimization of recreational forest management), In: *Rekreatsionnoe lesopol'zovanie v SSSR* (Recreational forest management in the USSR), Moscow: Nauka, 1983, pp. 5–20.
24. Sorokina E.P., Bogachkova B.I., *Analiz sostoyaniya zdorov'ya naseleniya promyshlennogo goroda v svyazi s tekhnogennym zagryazneniem gorodskoi territorii* (Analysis of the health status of the population of an industrial city in connection with the technogenic pollution of the urban area), In: *Ekologo-geokhimicheskii analiz tekhnogennogo zagryazneniya* (Ecological and geochemical analysis of technogenic pollution), Moscow: IM-GRE, 1991, pp. 158–161.
25. Sukachev V.N., Zonn S.V., *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* (Methodical instructions for the study of forest types), Moscow: 1961, 144 p.
26. Fedorets N.G., *Polevaya praktika po lesnomu pochvovedeniyu dlya studentov lesokhozyaistvennykh spetsial'nostei (uchebno-metodicheskoe posobie)* (Field practice in forest soil science for students of forestry

- specialties (teaching aid)), Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2010, 56 p.
27. Fedorets N.G., Medvedeva M.V., *Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya pochv goroda Petrozavodska* (Environmental assessment of the state of soils in the city of Petrozavodsk), Petrozavodsk: Karel'skii nauchnyi tsentr RAN, 2005, 96 p.
28. Fedorets N.G., Morozova R.M., Transformatsiya mineral'nykh veshchestv i ee rol' v formirovaniy pochvennogo plodorodiya (Transformation of mineral substances and its role in the formation of soil fertility), In: *Ekologo-geokhimicheskie i biologicheskie zakonomernosti pochvoobrazovaniya v taezhnykh lesnykh ekosistemakh* (Ecological-geochemical and biological patterns of soil formation in taiga forest ecosystems), Collection of articles 6 Petrozavodsk, 2009, pp. 8–17.
29. Shishov L.L., Tonkonogov V.D., Lebedeva I.I., Gerasimova M.I., *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and Diagnostics of Soils of Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.
30. Yashin I.M., Kuznetsov P.V., Petukhova A.A., *Ekologicheskaya otsenka pochv i lesoparkov fatsii Petrozavodska* (Ecological assessment of soils and forest parks of facies of Petrozavodsk), *Izvestiya TSKhA*, Iss. 4, 2011, pp. 30–43.
31. Burghardt W., Soils in urban and industrial environments, *Z. Pflanzenernahr. Bodenkd*, 1994, Vol. 157, pp. 205–214, DOI: [10.1002/jpln.19941570308](https://doi.org/10.1002/jpln.19941570308).
32. Da Silva R.T., Fleskens L., Van Delden H., Van Der Ploeg M., Incorporating soil ecosystem services into urban planning: status, challenges and opportunities, *Landscape Ecol.*, 2018, Vol. 33, Iss. 7, pp. 1087–1102.
33. Li G., Sun G.X., Ren Y., Luo X.S., Zhu Y.G., Urban soil and human health: a review, *Eur. J. Soil Sci.*, 2018, Vol. 69, Iss. 1, pp. 196–215.
34. Luo X., Yu S., Li X., Distribution, availability, and sources of trace metals in different particle size fractions of urban soils in Hong Kong: implications for assessing the risk to human health, *Environmental Pollution*, 2011, Vol. 159, No. 5, pp. 1317–1326, DOI: [10.1016/j.envpol.2011.01.013](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.01.013).
35. O'Riordan R., Davies J., Stevens C., Quinton J.N., Boyko C., The ecosystem services of urban soils: A review, *Geoderma*, 2021, Vol. 395, 115076, DOI: [10.1016/j.geoderma.2021.115076](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115076).
36. Pavao-Zuckerman M.A., The Nature of Urban Soils and Their Role in Ecological Restoration in Cities, *Restoration Ecology*, 2008, No. 4, pp. 642–649, DOI: [10.1111/j.1526-100X.2008.00486.x](https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00486.x).
37. Shi B., Tang C.-S., Gao L., Liu Ch., Wang B.-J., Observation and analysis of the urban heat island effect on soil in Nanjing, China, *Environmental Earth Sciences*, 2012, Vol. 67, Iss. 1, pp. 215–229.

38. *Soils within Cities*. Global approaches to their sustainable management – composition, properties, and functions of soils of the urban environment, Levin M.J., Kim K.-H.J., Morel J.L., Burghardt W., Charzynski P., Shaw R.K. (Eds), Schweizerbart Science Publ., 2017. 253 p.