

УДК 631.4:630*182.47/.48:504.5:676:628.395
DOI 10.19110/1994-5655-2021-5-46-60

**Е.М. ЛАПТЕВА, Ю.В. ХОЛОПОВ, О.В. ШАХТАРОВА,
Н.Н. БОНДАРЕНКО, С.Н. КОСТРОВА**

ПОЧВЫ И ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар*

*lapteva@ib.komisc.ru,
vegalyn@mail.ru,
olga.shakhtarova@mail.ru,
bondnikropolnik@mail.ru,
kostrova@ib.komisc.ru*

**E.M. LAPTEVA, YU.V. KHOLPOV,
O.V. SHAKHTAROVA, N.N. BONDARENKO,
S.N. KOSTROVA**

SOILS AND SOIL COVER IN THE ZONE OF INFLUENCE OF AIRBORNE INDUSTRIAL EMISSIONS FROM PULP AND PAPER PRODUCTION

*Institute of Biology, Federal Research Centre
Komi Science Centre, Ural Branch, RAS,
Syktyvkar*

Аннотация

Выполнена оценка экологического состояния почв наземных экосистем (сосняки лишайниковые, сосняки черничные, ельники черничные), расположенных в градиенте аэротехногенного воздействия АО «Монди СЛПК». Выявлены особенности изменения физико-химических показателей почв в зависимости от их типовой принадлежности и уровня воздействия газо-пылевых выбросов предприятия. Установлено, что на современном этапе влияние АО «Монди СЛПК» на почвы наземных экосистем прослеживается в основном в импактной зоне, для которой характерно комплексное техногенное воздействие (наличие поселений, сельскохозяйственных и промышленных предприятий, авто- и ж/д магистралей и пр.). Трансформация свойств почв в импактной зоне проявляется в: (а) изменении кислотно-основного состояния почв в сторону подщелачивания; (б) повышении, по сравнению с почвами, фоновых участков, концентрации железа и углеродородов; (в) превышении в отдельных образцах почв значений ПДК и ОДК для марганца ($1.0 \div 5.7 \text{ ПДК}_{\text{Mn}}$) и мышьяка ($1.0 \div 1.7 \text{ ОДК}_{\text{As}}$). Выявленное увеличение в отдельных образцах почв содержания цинка, составляющее $1 \div 2 \text{ ОДК}_{\text{Zn}}$, скорее всего, обусловлено естественными причинами – поступлением Zn в почвы при разложении древесных остатков. Аккумуляции в почвах водорастворимых компонентов газо-пылевых выбросов АО «Монди СЛПК» не выявлено. В биоклиматических условиях таежной зоны они легко вымываются из почв легкого гранулометрического состава, занимающих автоморфные позиции ландшафтов.

Ключевые слова:

целлюлозно-бумажное производство, аэротехногенное загрязнение, почвы, загрязнение почв, средняя тайга

Abstract

An assessment of the ecological state of soils of terrestrial ecosystems (lichen pine forests, bilberry pine forests, bilberry spruce forests) located in the gradient of aerotechnogenic impact of Mondi Syktyvkar JSC was carried out. The peculiarities of changes in the physical and chemical parameters of soils depending on the soil type and the level of exposure to gas and dust emissions of the enterprise are revealed. It is established that at the present stage, the influence of Mondi Syktyvkar JSC on the soils of terrestrial ecosystems is traced mainly in the impact zone, which is characterized by a complex anthropogenic impact (the presence of settlements, agricultural and industrial enterprises, automobile and railway highways, etc). The transformation of soil properties in the impact zone is manifested in: a) a change in the acid-base state of soils towards alkalization; b) an increase in the iron and hydrocarbons concentration compared to the soils of background sites; c) exceeding in indi-

vidual soil samples of MAC and APC criteria for manganese ($1.0 \div 5.7$ MAC(Mn) and arsenic ($1.0 \div 1.7$ APC(As)). The revealed increase in the Zn content ($1 \div 2$ APC(Zn) in selected soil samples is most likely due to natural causes - the entry of Zn into the soil during the decomposition of wood residues. Accumulation of water-soluble components of gas and dust emissions of Mondi Syktывkar JSC in soils has not been revealed. At

Введение

Целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) – одна из ведущих отраслей обрабатывающей промышленности Российской Федерации (РФ), на ее долю приходится около 2 % от объема промышленной продукции России [1, 2]. На территории России функционируют 270 объектов ЦБП, среди которых 20 – крупные комбинаты по переработке целлюлозы с высокой мощностью производства [3]. В их число входит АО «Монди Сыктывкарский ЛПК» (Монди СЛПК) – одно из крупнейших, динамично развивающихся предприятий ЦБП [2], которое функционирует на территории Республики Коми с 1969 г.

Известно, что производство целлюлозно-бумажных комбинатов оказывает негативное воздействие на состояние окружающей среды [4]. Это обусловлено высокой материалоемкостью ЦБП (для получения 1 т целлюлозы необходимо в среднем $5\text{--}6$ м³ древесины), водоемкостью (на 1 т целлюлозы расходуется в среднем 350 м³ воды) и образованием значительного количества отходов [5, 6]. В результате аэротехногенных выбросов ЦБП непосредственно в воздух и с газо-пылевыми выбросами в окружающую среду поступает значительное количество минеральной пыли, содержащей карбонаты и сульфаты кальция и натрия, а также макро- и микроэлементы [3, 7]. В почвах, находящихся в зоне влияния выбросов ЦБП, отмечены повышенные концентрации тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Hg и др.) и серы [8].

В Республике Коми при оценке воздействия предприятий целлюлозно-бумажного производства на компоненты природной среды первоочередное внимание обращалось на состояние древостоев и растений напочвенного покрова наземных экосистем [9–12], почвенных беспозвоночных животных [13, 14], накопление поллютантов в снежном покрове [7] в зоне влияния аэротехногенных выбросов Монди СЛПК, поступление поллютантов в составе сточных вод [4]. Почвы и почвенный покров в данном аспекте не исследованы. В рамках комплексных исследований, выполненных в 2018–2020 гг. сотрудниками Института биологии ФИЦ Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН) с целью оценки долговременного влияния Монди СЛПК на биоразнообразие окружающей среды, особое внимание было уделено состоянию в зоне воздействия его аэротехногенных выбросов почвенного покрова и почв, со свойствами и режимами которых тесно

the bioclimatic conditions of the taiga zone, they are easily washed out of light granulometric soils, occupying automorphic positions of landscapes.

Keywords:

pulp and paper industry, aero technogenic pollution, soils, soil pollution, middle taiga

связано функционирование растительных сообществ и почвенной биоты.

Цель данной работы – оценка современного состояния почв и выявление закономерностей изменения их свойств в градиенте аэротехногенного загрязнения под влиянием целлюлозно-бумажного производства.

Объекты и методы

Исследования проводили в окрестностях г. Сыктывкара (европейский Северо-Восток России, Республика Коми). В геоморфологическом отношении район исследования приурочен к территории Вычегодско-Мезенской равнины с водно- и озерно-ледниковыми отложениями московско-микулинского гляциоседиментационного цикла [15]. Согласно почвенно-географическому районированию РК [16], он охватывает Сысольский и Луза-Сысольский почвенные округа Сысола-Вычегодской провинции подзоны средней тайги, в пределах которой преимущественно распространены подзолистые и болотно-подзолистые почвы. Почвенно-растительный покров территории в значительной мере трансформирован, что связано с длительной историей его освоения: развитием городской инфраструктуры, наличием поселений, сельскохозяйственных и промышленных комплексов, авто- и ж/д магистралей, трубопроводов, ЛЭП, мелиорированных земель, участков разновозрастных вырубков лесов и пр.

Для оценки влияния производственной деятельности Монди СЛПК на почвы и почвенный покров прилегающей территории использовали постоянные пробные площади (ППП), выделенные с учетом:

- зонирования территории по степени воздействия предприятия на наземные экосистемы (импактная зона, буферная зона, условный фон);
- розы ветров, определяющей направление преимущественного распространения газо-пылевых выбросов Монди СЛПК, – с юга на север от санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия;
- типа растительности (сосняки лишайниковые, сосняки черничные, ельники черничные);
- дренированности ландшафтов (все пробные площади приурочены к хорошо дренированным участкам водораздельных территорий и борových террас долины р. Вычегды).

Исследования проводили в пределах ППП, на которых, начиная с середины 90-х гг. прошлого столетия, ведется мониторинг состояния еловых и

Таблица 1

Краткая характеристика объектов исследования в различных зонах аэротехногенного влияния АО «Монди СЛПК»

Table 1

Brief description of the objects of research in various zones of aerotechnogenic influence of Mondy Syktyvkar JSC

Номер ¹	Расстояние ² , км	Координаты ³	Растительное сообщество	Тип почвы, формула строения профиля почвы
Импактная зона				
ППП 3	1.3	61°50'12.7" с.ш. 50°42'56.8" в.д.	Сосняк разнотравный (Ср) ⁴	Подзолистая (П) ⁴ $O \frac{0-3}{3} OAh \frac{3-6}{3} A2 \frac{6-11}{5} A2B \frac{11-18}{7} B \frac{18-40}{22} D \frac{40-100}{60}$
ППП 37	3.5	62°01'35.4" с.ш. 50°36'22.9" в.д.	Ельник черничный (Еч)	Подзолистая поверхностно-глееватая ⁵ (Ппг) $O \frac{0-10}{10} A2g \frac{10-20(23)}{10(13)} A2B \frac{10(23)-36(40)}{26(27)} D \frac{36-100}{64} DC \frac{100-120}{20}$
Буферная зона				
ППП 13	7.0	61°58'26.2" с.ш. 51°08'59.6" в.д.	Сосняк лишайниковый (Сл)	Подзол иллювиально-железистый (П ^{ИЖ}) $O \frac{0-1.5}{1.5} A2 \frac{1.5-6(7)}{4.5(5.5)} Bf \frac{6(7)-27}{20(21)} B \frac{27-63}{36} BC \frac{63-107}{44} C \frac{107-127}{20}$
ППП 14	11.0	61°47'15.2" с.ш. 50°55'16.6" в.д.	Сосняк лишайниковый (Сл)	Подзол иллювиально-железистый (П ^{ИЖ}) $O \frac{0-2}{2} A2 \frac{2-6(10)}{4(8)} Bf \frac{6(10)-29}{19(23)} B \frac{29-58}{29} BC \frac{58-100}{42} C \frac{100-120}{20}$
ППП 14.5	14.5	61°58'09.0" с.ш. 50°36'34.1" в.д.	Сосняк лишайниковый (Сл)	Подзол иллювиально-железистый (П ^{ИЖ}) $O \frac{0-1.5}{1.5} A2 \frac{1.5-6(7)}{4.5(5.5)} Bf \frac{6(7)-27}{20(21)} B \frac{27-63}{36} BC \frac{63-107}{44} C \frac{107-127}{20}$
ППП 19	6.5	61°52'49.9" с.ш. 50°43'38.6" в.д.	Сосняк черничный (Сч)	Торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-железистая ⁵ (БП ^{ИЖ}) $O \frac{0-13}{13} A2hg \frac{13-22(25)}{9(12)} Bf \frac{22(25)-40(45)}{14(19)} B \frac{40(45)-57(58)}{14(17)} Dg \frac{60-90}{30}$
ППП 2	12.7	61°56'07.1" с.ш. 50°40'32.9" в.д.	Сосняк черничный (Сч)	Подзол иллювиально-железистый глееватый ⁵ (П ^{ИЖ}) $O \frac{0-6(8)}{6(8)} A2h, g \frac{6(8)-12}{4(6)} A2g \frac{12-28(38)}{16(26)} Bfg \frac{28(38)-47(52)}{14(19)} Bg \frac{47(52)-60}{8(13)} D \frac{60-100}{40}$
ППП 36	9,5	61°56'08.8" с.ш. 50°41'11.3" в.д.	Ельник черничный (Еч)	Подзолистая поверхностно-глееватая ⁵ (Ппг) $O \frac{0-7}{7} A2gh \frac{7-20(26)}{13(19)} A2B \frac{20(26)-36}{16(10)} D \frac{36-100}{64} DC \frac{100-120}{20}$
ППП 12.6	12.6	61°54'48.2" с.ш. 50°41'00.6" в.д.	Ельник черничный (Еч)	Подзолистая поверхностно-глееватая ⁵ (Ппг) $O \frac{0-7}{7} A2hg \frac{7-8}{1} A2g \frac{8-22}{114} A2B \frac{22-40}{18} D \frac{40-100}{60} DC \frac{100-120}{20}$
Условный фон				
ППП 35.1	35.1	61°47'15.2" с.ш., 50°55'16.6" в.д.	Сосняк лишайниковый (Сл)	Подзол иллювиально-железистый (П ^{ИЖ}) $O \frac{0-2}{2} A2 \frac{2-4(9)}{2(7)} Bf \frac{4(9)-18}{9(14)} B \frac{18-59}{41} BC \frac{59-100}{41} C \frac{100-112}{20}$
ППП 1	22.0	62°01'34.8" с.ш. 50°43'10.1" в.д.	Сосняк черничный (Сч)	Подзол иллювиально-железистый ⁵ (П ^{ИЖ}) $O \frac{0-8}{8} A2 \frac{8-25(30)}{8(22)} Bf \frac{30-55}{25} B \frac{55-80}{25} D \frac{80-100}{20}$
ППП 24.0	24.0	61°51'17.3" с.ш. 50°43'06.7" в.д.	Ельник черничный (Еч)	Подзолистая поверхностно-глееватая ⁵ (Ппг) $O \frac{0-6}{6} A1A2 \frac{7-8}{1} A2g \frac{7-15(18)}{8(110)} A2B \frac{15(18)-37}{12(19)} D \frac{37-100}{63} DC \frac{100-120}{20}$

Примечание: ¹ – здесь и далее номер пробной площади; ² – расстояние от источника эмиссии до места закладки опорного разреза; ³ – координаты опорного разреза;

⁴ – в скобках приведено буквенное обозначение растительного сообщества и типа почвы; ⁵ – почвы, развитые на двучленных почвообразующих породах.

Note: ¹ – hereinafter, the number of the test plot; ² – the distance from the emission source to the location of the reference section; ³ – the coordinates of the reference section; ⁴ – the letter designation of the plant community and soil type is given in brackets; ⁵ – soils developed on binomial soil-forming rocks.

сосновых насаждений в условиях хронического загрязнения газо-пылевыми выбросами целлюлозно-бумажного производства. Краткая характеристика выделенных ППП приведена в табл. 1, детальное описание состава древостоев и напочвенного покрова представлено в работах [9–12]. Площадь ППП варьирует от 0.12 до 0.24 га, их размер устанавливали с таким расчетом, чтобы число деревьев основной лесообразующей породы на выбранном участке было не менее 100 шт. [9]. В пределах каждой ППП закладывали почвенный разрез для морфологического описания и диагностики почв. Индексацию горизонтов и названия почв давали в соответствии с региональной классификацией почв [16].

Для оценки пространственного варьирования свойств верхних горизонтов почв на каждой ППП дополнительно закладывали не менее 10 прикопок на глубину до 30–40 см. Размещение точек отбора (прикопок) в пределах ППП было случайным. Пробы почв для физико-химических исследований отбирали с учетом требований ГОСТ 17.4.3.01-2017 в строгом соответствии с генетическими горизонтами (в прикопках – из подстильно-торфяного (гор. О) и подзолистого (гор. А2(hg)), мощность которых приведена в формулах строения почвенных профилей (см. табл. 1). Анализировали индивидуальные образцы почв, опробованные в разрезах и прикопках, в экоаналитической лаборатории ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (уникальный номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц РОСС RU.0001.

511257) в соответствии с метрологически аттестованными методиками (табл. 2). Перечень анализируемых показателей включает стандартный набор данных, необходимый для генетической характеристики почв, а также оценки возможного влияния на их свойства газо-пылевых выбросов Монди СЛПК, в состав которых входят оксиды углерода, азота, серо- и натрийсодержащие вещества. Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета программ Microsoft Excel и Statistica 13.

Результаты и обсуждение

Характеристика почв и почвенного покрова. Почвы выделенных ППП формируются либо на древнеаллювиальных песках борových террас долины р. Вычегды (сосняки лишайниковые), либо на отложениях водно-ледникового происхождения (сосняки черничные и ельники черничные). Последние представлены песками, подстилаемыми суглинками. Мощность песчаных отложений, в составе которых присутствуют галька и валуны, варьирует от 30–40 до 60–80 см. Подстилающие суглинистые отложения (горизонт D в почвах на двучленных почвообразующих породах) выполняют роль водопора. Застой влаги на контакте с ним способствует временному переувлажнению верхней песчаной части профиля, что особенно ярко проявляется в годы со значительным количеством осадков. Благодаря этому, в профиле таких почв весной (после таяния снега) и при выпадении значительного коли-

Таблица 2

Методики измерений, использованные для химического анализа проб почв

Table 2

Measurement techniques used for chemical analysis of soil samples

Показатель	Метод измерений, нормативный документ
Электропроводность водной вытяжки	Кондуктометрический метод, Методика измерений № 88-17641-004-2018 (ФР.1.31.2018.31639)
Водородный показатель солевой вытяжки, pH _{соп}	Потенциометрический метод, Методика измерений № 88-17641-005-2018 (ФР.1.31.2018.31673)
Углерод общий, C _{общ}	Метод газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O), Методика измерений № 88-17641-004-2016 (ФР.1.31.2016.23502)
Азот общий, N _{общ}	Метод газовой хроматографии на элементном анализаторе EA 1110 (CHNS-O), Методика измерений № 88-17641-004-2016 (ФР.1.31.2016.23502)
Обменные катионы Ca ²⁺ и Mg ²⁺	Метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, Методика измерений № 88-17641-005-2017 (ФР.1.31.2018.29615)
Обменные формы N-NH ₄ ⁺	Фотометрический метод, Методика измерений № 88-17641-003-2018 (ФР.1.31.2018.30608)
Обменные формы N-NO ₃ ⁻	Фотометрический метод, Методика измерений № 88-17641-002-2018 (ФР.1.31.2018.30610)
Натрий обменный, Na _{обм}	Метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, Методика измерений № 88-17641-002-2019 (ФР.1.31.2019.33299)
Сера подвижная, S _{подв}	Метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, Методика измерений № 88-17641-005-2017 (ФР.1.31.2018.29615)
Железо, Fe Марганец, Mn Цинк, Zn Медь, Cu Свинец, Pb Кадмий, Cd Никель, Ni Кобальт, Co Мышьяк, As	Метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой, ПНД Ф 16.1:2.3:3.11-98 (ФР.1.31.2006.02149)
Ртуть, Hg	Атомно-абсорбционный метод на анализаторе ртути РА-915, ПНД Ф 16.1:2.23-2000 (ФР.1.31.2005.01686)
Нефтепродукты, НП	Флуориметрический метод на анализаторе жидкости «Флюорат-02», ПНД Ф 16.1:2.21-98 (ФР.1.31.2012.13170)

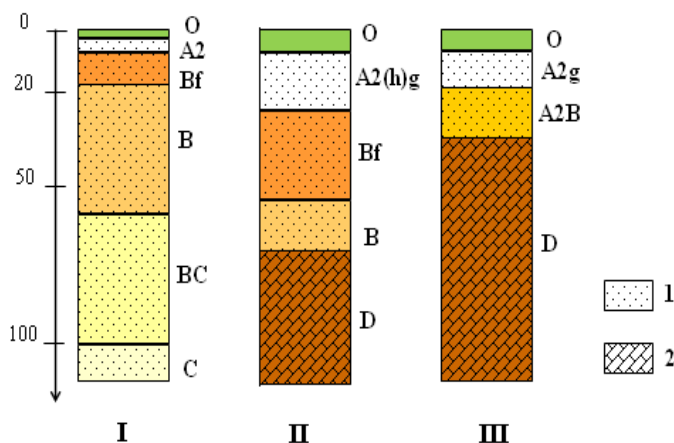


Рис. 1. Схематичное строение профиля почв, формирующихся под пологом сосняков лишайниковых (I), сосняков черничных (II) и ельников черничных (III).

Условные обозначения: 1 – песчаные отложения; 2 – суглинистые отложения.

Fig. 1. Schematic structure of the soil profile formed under the canopy of lichen pine forests (I), blueberry pine forests (II) and blueberry spruce forests (III).

Symbols: 1 – sandy deposits; 2 – loamy deposits.

чества осадков образуется верховодка, обуславливающая развитие поверхностного оглеения. Различия в глубине залегания суглинистой толщи определяют специфику морфологического строения и типовой принадлежности почв выделенных ППП (рис. 1).

Сходство почв всех рассмотренных ППП прослеживается в характере и свойствах верхней части их профиля (рис. 1), сформированной на отложениях легкого гранулометрического состава (пески) и характеризующихся бедностью элементами питания растений. Различия между почвами исследованных ППП определяются глубиной залегания подстилающих суглинистых отложений и степенью выраженности временного поверхностного переувлажнения.

Наиболее однороден почвенный покров всех пробных площадей, приуроченных к борovým террасам р. Вычегды (ППП 35.1, ППП 14.5, ППП 14, ППП 13). Его основу составляют подзолы иллювиально-железистые, для которых характерно однотипное строение профиля (см. табл. 1). В силу специфики распространения борových террас в долине р. Вычегды выделить соответствующие ППП в границах импактной зоны не представлялось возможным. Они приурочены только к буферной зоне (ППП 13, ППП 14, ППП 14.5) и условно фоновой территории (ППП 35.1).

ППП, растительный покров которых представлен сосняками черничными и ельниками черничными, выделены во всех трех зонах (см. табл. 1). Почвы ППП с сосняками черничными отличаются друг от друга по уровню дренированности, образуя ряд по степени нарастания поверхностного переувлажнения: подзол иллювиально-железистый (ППП 1) → подзол иллювиально-железистый глееватый (ППП 2) → торфянисто-подзолисто-глееватая иллювиально-железистая почва (ППП 19). Участок ППП 3, выделенный в импактной зоне, приурочен к надпойменной террасе р. Вычегды, в связи с этим ее почва отличается по своему морфологическому

строению от остальных участков, хотя и относится к типу подзолистых почв (см. табл. 1). Обилие трав в травяно-кустарничковом ярусе соснового сообщества на этом участке способствовало формированию органогенного горизонта, представленного преимущественно слабо разложенными остатками травянистых растений, а не мхов, как в подзолах иллювиально-железистых (ППП 1, ППП 2) и торфянисто-подзолисто-глееватой иллювиально-железистой почве (ППП 19).

Пробные площади с ельниками черничными (ППП 37, ППП 36, ППП 12.6, ППП 24) близки по строению профиля. Все они относятся к одному типу – подзолистые поверхностно-глееватые почвы, развитые на двучленных отложениях (см. табл. 1).

На всех выделенных ППП ведущим почвообразовательным процессом является подзолистый, который определяет развитие под органогенным горизонтом (гор. O) осветленного элювиального (подзолистого) горизонта (гор. A2). Различия в условиях дренированности и возможность застоя влаги на контакте с суглинками обуславливают развитие почв на двучленных отложениях под влиянием двух основных процессов – подзолистого и глеевого. Последний способствует более активному разрушению первичных минералов в процессе почвообразования, мобилизации соединений с переменной валентностью (в первую очередь, железа и марганца), их выносу из почвенного профиля, миграции с почвенно-грунтовыми водами и поступлению, в конечном итоге, в водотоки [17, 18].

Таким образом, на борových террасах с сосняками лишайниковыми почвенный покров ППП, выделенных в разных зонах азротехногенного воздействия Монди СЛПК, представлен подзолами иллювиально-железистыми, развитыми на кварцевых песках; на водоразделах с сосняками черничными – подзолами иллювиально-железистыми, в том числе глееватыми, развитыми на двучленных отложениях; в ельниках черничных – подзолистыми поверхностно-глееватыми почвами, развитыми на двучленных отложениях (см. табл. 1).

Влияние азротехногенного воздействия Монди СЛПК на физико-химические свойства почв. Детальная оценка полученных нами данных, их сравнительный анализ с учетом пространственного варьирования показателей в пределах ППП свидетельствуют об отсутствии значимых различий между свойствами почв фоновых участков и почв ППП, расположенных в буферной зоне. Все они по своим морфологическим и физико-химическим свойствам близки к соответствующим параметрам зональных типов и подтипов почв [16]. Подстилочно-торфяные (гор. O) и минеральные (гор. A2(hg)) горизонты имеют кислую и очень сильнокислую реакцию среды (табл. 3).

Органогенные горизонты, по сравнению с минеральными подзолистыми, отличаются аккумуляцией органического вещества и биофильным накоплением элементов питания растений, в том числе минеральных форм азота – ионов аммония и

Таблица 3

Некоторые показатели $(\bar{X} \pm \sigma)^1$ физико-химического состояния органогенных и минеральных горизонтов почв пробных площадей, выделенных в различных зонах аэротехногенного влияния АО «Монди СЛПК»

Table 3

Some indicators $(\bar{X} \pm \sigma)^1$ of the physico-chemical state of organogenic and mineral horizons of soils of sample plots identified in various zones of aerotechnogenic influence of Mondy SyktvykarJSC

Номер	Расстояние, км	Растительное сообщество, тип почвы	Горизонт	рНсол.	С _{общ}	№ _{общ}	Обменные катионы		Обменные формы		V ²
				ед. рН	%		Ca ²⁺	Mg ²⁺	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	%
Импактная зона											
ППП 3	1,3	Ср, П	О	5,11±0,15	22±4	0,83±0,13	24±4	4,9±0,7	112±43	20±10	54±4
			A2	4,0±0,3	3,1±2,4	0,19±0,11	6,0±2,0	1,1±0,4	10±5	2,2±1,0	45±9
ППП 37	3,5	Еч, Ппг	О	4,3±0,7	36±6	1,34±0,22	40±10	5,9±2,6	75±25	2,7±0,4	47±14
			A2g	3,6±0,5	1,4±1,2	0,06±0,05	3,10±4,3	0,8±1,2	3,0±2,1	0,35±0,19	26±21
Буферная зона											
ППП 13	7	Сл, П ^{ИЖ}	О	3,07±0,11	41±8	1,03±0,12	10,5±1,1	3,3±0,7	61±16	2,1±1,0	19±2
			A2	3,13±0,10	0,32±0,07	0,016±0,002	0,20±0,05	0,13±0,01	2,7±0,5	1,17±0,11	12,3±0,5
ППП 14	14	Сл, П ^{ИЖ}	О	3,07±0,06	45±5	1,02±0,12	10±5	2,1±0,6	52±19	4,1±2,7	16±4
			A2	3,3±0,3	1,10±0,22	0,03±0,01	0,24±0,21	0,13±0,01	4±2	1,1±0,4	5±3
ППП 14,5	14,5	Сл, П ^{ИЖ}	О	3,18±0,16	25±7	0,55±0,20	6,1±2,5	2,0±0,6	63±23	3,3±0,6	13±3
			A2	3,18±0,13	1,0±0,3	0,03±0,01	0,33±0,20	0,13±0,03	2,5±0,6	0,9±0,7	6±6
ППП 19	6,5	Сч, БП ^{1ИЖ}	О	3,16±0,12	47,3±1,0	0,58±0,11	19,0±2,3	4,5±1,1	83±25	14±6	24,3±2,3
			A2hg	3,1±0,20	1,8±0,7	0,05±0,02	0,29±0,13	0,14±0,03	2,2±1,7	0,9±0,3	8,5±0,8
ППП 2	12,7	Сч, П ^{1ИЖ}	О	3,49±0,14	45±4	1,38±0,14	15,8±2,4	4,2±0,6	237±65	11±3	22,9±2,7
			A2hg	3,26±0,14	0,25±0,11	0,016±0,04	0,19±0,06	0,061±0,020	1,2±1,1	0,48±0,19	22±6
ППП 36	9,5	Еч, Ппг	О	3,33±0,27	29±10	1,0±0,4	14±6	2,9±1,0	58±20	2,6±0,6	24±8
			A2hg	3,0±0,3	1,5±1,4	0,07±0,06	0,90±0,6	0,29±0,23	2,7±0,6	0,13±0,12	11±5
ППП 12,6	12,6	Еч, Ппг	О	3,06±0,16	42±4	1,22±0,12	19,4±2,0	3,7±0,4	86±43	3,5±0,7	23±4
			A2hg	2,88±0,13	0,6±0,03	0,03±0,02	0,21±0,08	0,10±0,04	2,2±1,3	0,13±0,11	7±7
Условный фон											
ППП 35,1	35,1	Сл, П ^{ИЖ}	О	3,02±0,05	32±4	0,77±0,08	6±3	1,9±0,5	55±9	3,4±1,3	11±2
			A2	3,00±0,01	1,0±0,4	0,03±0,01	0,25±0,16	0,15±0,03	2,9±0,5	0,6±0,3	6±3
ППП 1	22	Сч, П ^{ИЖ}	О	3,12±0,27	46±4	1,23±0,15	14±3	3,5±0,5	154±61	12±3	18±4
			A2	3,26±0,14	0,5±0,3	0,03±0,01	0,16±0,04	0,042±0,026	0,4±0,6	0,8±0,4	26±7
ППП 24	24	Еч, Ппг	О	3,29±0,27	42,7±1,2	1,47±0,11	25±4	5,2±0,9	117±62	3,1±0,5	29±6
			A2g	2,73±0,12	1,2±0,9	0,05±0,03	0,60±0,3	0,2±0,1	2,9±1,7	0,29±0,26	8±2

Примечание: ¹ – здесь и далее приведены значения среднего арифметического \bar{X} и среднеквадратичного (стандартного) отклонения σ ; ² – степень насыщенности основаниями.

Note: ¹ – hereinafter, the values of the arithmetic mean \bar{X} and standard deviation σ are given; ² – the degree of saturation with the bases.

нитрат-ионов. Это типично для почв подзолистого типа, формирующихся в хвойных фитоценозах таежной зоны [16, 19]. Особенности почвы участка ППП 3 являются: (1) приуроченность к надпойменной террасе р. Вычегды; (2) формирование на от-

ложениях суглинистого гранулометрического состава; (3) развитие дернового процесса под влиянием травянистого напочвенного покрова. Это определило существенно более высокое содержание в ее элювиальном горизонте (гор. A2) углерода органи-

ческих соединений ($C_{\text{общ}} = 3,1 \pm 2,4 \%$), общего азота ($N_{\text{общ}} = 0,19 \pm 0,11 \%$) и, соответственно, более высокую обогащенность азотом почвенного органического вещества: $C/N = 18 \pm 6$ (для сравнения в минеральных горизонтах почв фоновых участков величина C/N составляет 21–40).

Почвы участков ППП 3 (сосняк разнотравный) и ППП 37 (ельник черничный), расположенных в импактной зоне, отличаются от почв соответствующих им фоновых участков и почв буферной зоны по ряду показателей (см. табл. 3). В них выявлено изменение кислотно-основных свойств в сторону подщелачивания. Для органогенного горизонта почвы участка ППП 3 отмечено изменение параметров обменной кислотности ($pH_{\text{сол}}$) на две единицы pH, по сравнению с фоновым участком. В ельнике черничном (ППП 37) кислотность органогенного горизонта изменилась в меньшей степени – на одну единицу pH. Органогенные и минеральные горизонты почв обоих участков имеют более высокие показатели содержания обменных оснований (см. табл. 3). Изменение в почвах этих участков кислотно-основного состояния, по сравнению с фоновыми ППП, а также возрастание степени насыщенности основаниями (см. табл. 3) позволяют предположить, что эти изменения в первую очередь связаны с деятельностью Монди СЛПК и аэротехногенным поступлением на поверхность почв импактной зоны карбонатов, оксидов кальция и магния, входящих в состав газо-пылевых выбросов предприятия [7].

В составе основных компонентов выбросов Монди СЛПК значимую роль играют также серо-, азот- и натрийсодержащие соединения. Их присутствие в снежном покрове маркирует уровень влияния предприятия на наземные экосистемы [7]. В связи с этим в почвах всех выделенных ППП особое внимание было уделено оценке содержания массовой доли серы подвижной ($S_{\text{подв}}$), азота ионов аммония ($N-NH_4^+$) и нитрат-ионов ($N-NO_3^-$), а также натрия обменного ($Na_{\text{обм}}$). Четких закономерностей в изменении содержания $S_{\text{подв}}$ в органогенных и минеральных горизонтах почв ППП, расположенных в градиенте влияния аэротехногенных выбросов Монди СЛПК, не прослеживается (рис. 2).

В органогенных горизонтах почв этот показатель минимален в почвах сосняков лишайниковых – (57 ± 5) мг/кг. В почвах, сформированных на дву-членных отложениях, он имеет более высокие значения: в сосняках черничных – (178 ± 79) мг/кг, в ельниках черничных – (94 ± 30) мг/кг. Для сравнения, в почвах сельскохозяйственных угодий содержание $S_{\text{подв}} > 12$ мг/кг соответствует высокому уровню обеспеченности серой [20]. В минеральных горизонтах всех исследованных почв массовая доля $S_{\text{подв}}$ на один–два порядка ниже и составляет соответственно ($1,9 \pm 0,8$), ($1,9 \pm 1,2$) и ($3,3 \pm 0,3$) мг/кг, что соответствует низкому уровню содержания $S_{\text{подв}}$ в почвах [20].

Высокое содержание в органогенных горизонтах $S_{\text{подв}}$ может быть обусловлено аккумуляцией серосодержащих соединений техногенной природы горизонтами лесных подстилок, богатыми органическим веществом и гумусовыми соединениями. [21]. Однако, учитывая сходство почв фоновых уча-

стков по этому параметру и низкие значения массовой доли $S_{\text{подв}}$ в минеральных горизонтах (рис. 2Б), можно предположить, что органогенные горизонты таежных почв, в силу особенностей химического состава трансформирующихся в них растительных остатков, изначально характеризуются повышенным содержанием $S_{\text{подв}}$. Это связано с тем, что сера, как и азот, является важным компонентом как растений, так и почв, поскольку входит в состав высокомолекулярных природных соединений – белков и гумусовых веществ (гуминовых и фульвокислот). Низкий уровень содержания $S_{\text{подв}}$ в минеральных горизонтах может быть обусловлен несколькими факторами: (1) низкой емкостью поглощения песчаных почвообразующих пород, не способных удерживать, как суглинки и глины, в профиле почв катионы и анионы; (2) активным выносом легкорастворимых солей, в том числе сульфатов, из почвенного профиля в условиях гумидного климата; (3) микробиологической трансформацией серосодержащих соединений при их поступлении на поверхность почв [21].

Содержание в почвах нитратных ($N-NO_3^-$) и аммонийных ($N-NH_4^+$) форм азота определяется как природными факторами (характер растительности, активность почвенных микроорганизмов, участвующих в процессах аммонификации, нитрификации и денитрификации, условия увлажнения почв) [22–24], так и техногенным поступлением азотсодержащих соединений в наземные экосистемы [25]. Общими закономерностями в распределении аммонийных и нитратных форм азота для всех рассмотренных нами почв являются:

- преимущественная концентрация азота ионов аммония и нитрат-ионов в органогенных горизонтах почв – в зависимости от ППП превышение содержания $N-NH_4^+$ в органогенных горизонтах, по сравнению с минеральными, составило ($11 \div 394$) раз, $N-NO_3^-$ – ($2 \div 27$) раз;

- преобладание аммонийных форм азота над нитратными как в органогенных, так и минеральных горизонтах почв – в зависимости от ППП величина отношения $N-NH_4^+ / N-NO_3^-$ составляет в среднем ($6 \div 37$) для органогенных и ($0,4 \div 33$) для минеральных горизонтов.

Содержание аммонийных форм азота в почвах рассмотренных нами ППП варьирует в широких пределах (см. табл. 3), повторяя те же закономерности, что были установлены для $S_{\text{подв}}$. В органогенных горизонтах почв всех ППП содержание $N-NH_4^+$ соответствует очень высокому содержанию (> 8 мг/кг), в минеральных горизонтах, за исключением почвы сосняка разнотравного (ППП 3), – низкому (менее 6 мг/кг). В органогенных горизонтах показатели содержания $N-NH_4^+$ минимальны в почвах сосняков лишайниковых, где они в среднем составляют (58 ± 5) мг/кг, максимальны – в почвах сосняков черничных (146 ± 68) мг/кг. Почвы ельников черничных занимают промежуточное положение по этому параметру – (84 ± 25) мг/кг. Минеральные горизонты всех почв относительно близки по содержанию азота ионов аммония (соответственно ($3,0 \pm 0,7$), ($3,4 \pm 4,4$) и ($2,7 \pm 0,4$) мг/кг). На участке ППП 3 более высокое содержание $N-NH_4^+$ в минераль-

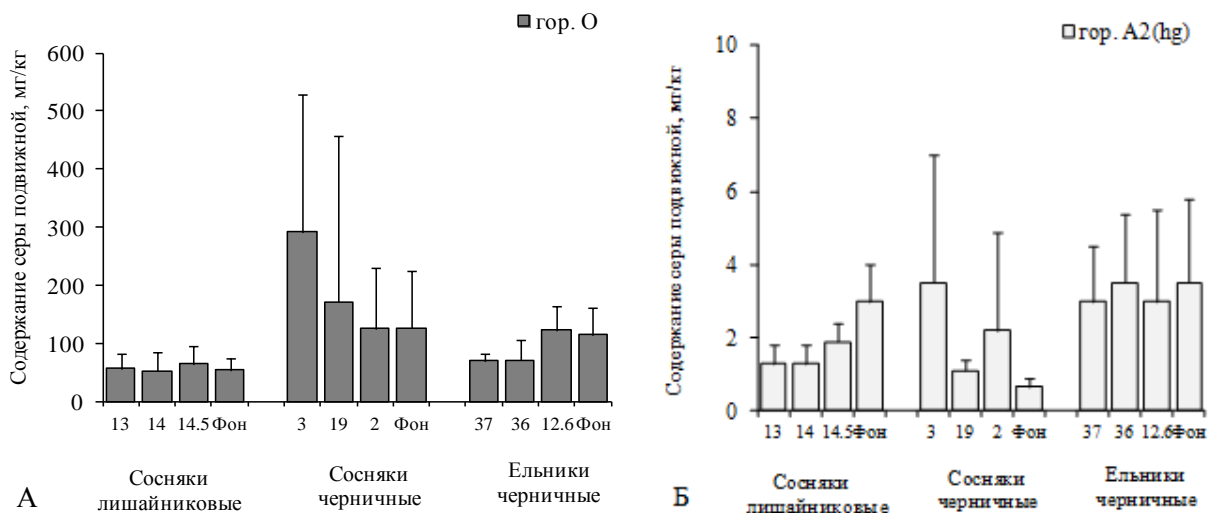


Рис. 2. Варьирование содержания серы подвижной в органогенных (А) и минеральных (Б) горизонтах почв ключевых участков, находящихся на разном удалении от источника эмиссии газо-пылевых выбросов АО «Монди СЛПК». Здесь и далее по оси абсцисс указаны номера пробных площадей, планками погрешности отмечено стандартное квадратичное отклонение.

Fig. 2. Variation of mobile sulfur content in organogenic (A) and mineral (B) soil horizons in key sites located at different distances from the emission source of gas and dust emissions of Mondi Syktyvkar JSC. Hereinafter, the abscissa shows the numbers of the trial plots, the error bars indicate the standard square deviation.

ных горизонтах – (10 ± 5) мг/кг – может быть обусловлено как природными факторами (разложение богатого азотом травянистого напочвенного покрова, более высокая емкость поглощения почв суглинистого гранулометрического состава), так и техногенными – близостью расположения к источнику эмиссии газо-пылевых выбросов (импактная зона).

В почвах подзолистого типа основную роль в составе обменных катионов играют ионы кальция и магния, натрий в обменной форме присутствует в крайне незначительных количествах. Аккумуляция натрия обычно характерна для почв аридных ландшафтов [26]. В условиях гумидного климата этот элемент легко выносится с нисходящим током влаги из почв наземных экосистем в виде легкорастворимых солей – хлоридов, сульфатов, нитратов. В частности, как показали исследования М.О. Герасимова с соавторами [27], водорастворимые соли, входящие в состав противогололедных препаратов, в условиях гумидного климата практически полностью вымываются из почвы уже к концу вегетационного сезона.

Содержание $Na_{обм}$ в почвах всех рассмотренных ППП существенно ниже содержания обменных оснований. И в органогенных, и в минеральных горизонтах, несмотря на их различия в вещественном составе, содержание $Na_{обм}$ находится примерно на одном уровне: в подстильно-торфяных горизонтах почв его содержание варьирует в среднем от $(0,03 \pm 0,05)$ до $(0,17 \pm 0,010)$ ммоль/100 г почвы, в минеральных горизонтах – от $(0,02 \pm 0,16)$ до $(0,23 \pm 0,04)$ ммоль/100 г почвы. Отсутствие выраженных трендов возрастания данного показателя в направлении от почв фоновых участков к почвам ППП, располагающихся в импактной зоне Монди СЛПК, позволяет говорить об отсутствии на данном этапе значимого влияния предприятия на загрязнение наземных экосистем, занимающих хорошо дренированные ландшафты, соединениями щелочных метал-

лов (Na), входящих в состав газо-пылевых выбросов предприятия.

Низкий уровень воздействия аэротехногенных выбросов Монди СЛПК на современном этапе его функционирования и их преимущественное влияние на почвы импактной зоны косвенно подтверждаются данными электропроводности водных вытяжек из образцов почв (рис. 3). В целом, электропроводность водных вытяжек во всех исследованных рядах почв невысока. Она варьирует в органогенных горизонтах в среднем от (30 ± 18) до (123 ± 22) мкСм/см, в минеральных – от (14 ± 6) до (34 ± 9) мкСм/см. Для сравнения, к категории засоленных относят почвы с электропроводностью почвенных паст > 2000 мкСм/см [28]. Таким образом, полученные нами данные свидетельствуют об очень низком уровне содержания водорастворимых солей в почвах ППП. Однако тенденция возрастания в направлении от фоновых участков к импактной зоне величины электропроводности водных вытяжек из образцов минеральных горизонтов почв ельников черничных и сосняков черничных (рис.3) позволяет предположить, что выявленный тренд может быть связан с поступлением и аккумуляцией в почвах наземных экосистем солей, входящих в состав газо-пылевых выбросов Монди СЛПК.

Содержание приоритетных поллютантов в почвах зоны воздействия аэротехногенных выбросов Монди СЛПК. Анализ полученных данных показал (табл. 4), что в почвах выделенных ППП содержание большинства ТМ, для которых установлены нормативы ориентировочно (ОДК) и/или предельно (ПДК) допустимых концентраций [29], находится ниже их уровня, а в ряде случаев – ниже предела обнаружения, например, для Zn, Co, Cd, As. Такие показатели содержания ТМ соответствуют ранее установленным значениям для подзолистых почв таежной зоны РК [30].

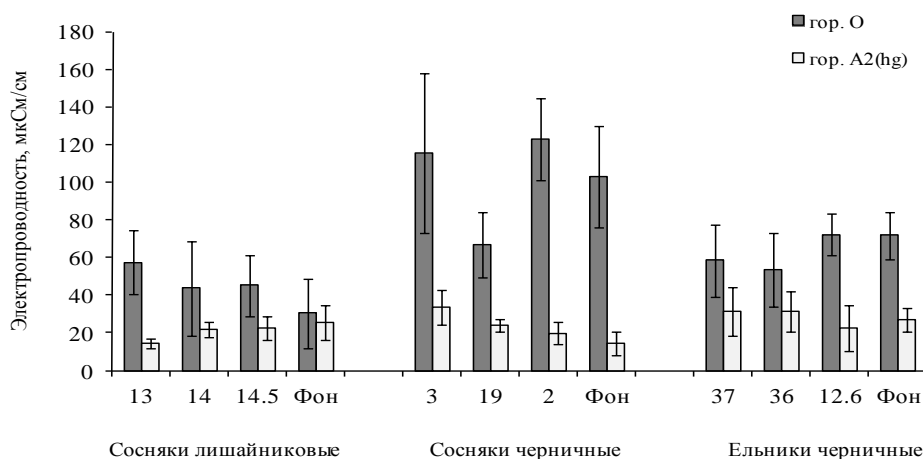


Рис. 3. Электропроводность водных вытяжек из образцов органогенных (гор. О) и минеральных (гор. А2) горизонтов почв пробных площадей, находящихся на разном удалении от источника эмиссии газо-пылевых выбросов АО «Монди СЛПК».

Fig. 3. Electrical conductivity of water extracts from samples of organogenic (horizon O) and mineral (horizon A2) soil horizons of test plots located at different distances from the emission source of gas and dust emissions of Mondy Syktyvkar JSC.

В импактной зоне (участки ППП 3 и ППП 37) отмечена аккумуляция в почвах Mn и Fe (рис. 4). Эти элементы присутствуют в значительных количествах в таежных почвах, особенно Fe, поскольку являются типоморфными элементами, определяющими формирование профиля почв подзолистого типа [31]. Для Fe не установлены нормативы ОДК и ПДК, для Mn норматив ПДК – 1500 мг/кг. Превышение ПДК для Mn отмечено в почвах участков ППП 3 – (1,2÷5,7) ПДК_{Mn} и ППП 37– (1,0÷3,0)ПДК_{Mn}. В рядах ельников черничных прослеживается четкий тренд увеличения содержания соединений железа как в органогенных, так и в минеральных горизонтах почв в направлении от фонового участка к ППП импактной зоны (рис. 4).

Практически во всех зонах, включая фоновые территории, для Zn отмечено превышение установленных для песчаных почв нормативов ОДК. Концентрация цинка в отдельных пробах почв находилась на уровне (1,0÷2,0) ОДК_{Zn}, что выше регламентированного фоновое содержания цинка в подзолах, распространенных на данной территории, в четыре–восемь раз [32]. Повышенные значения массовой доли Zn в почвах рассмотренных ППП могут быть обусловлены как техногенными факторами, в том числе влиянием выбросов автотранспорта [33], так и природными факторами – преимущественной аккумуляцией Zn и Mn в составе древесины хвойных пород и их возвращением в почвенную систему при разложении крупных древес-

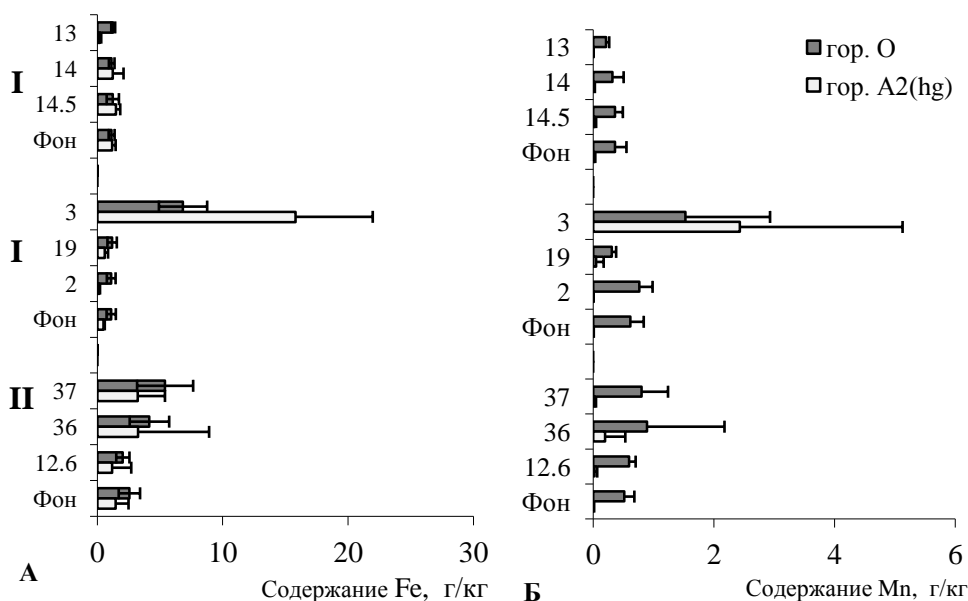


Рис. 4. Изменение содержания соединений железа (А) и марганца (Б) в почвах сосняков лишайниковых (I), сосняков черничных (II) и ельников черничных(III), расположенных в градиенте аэротехногенного воздействия газо-пылевых выбросов «АО Монди СЛПК».

Fig. 4. Changes in the content of iron (A) and manganese (B) compounds in the soils of lichen pine forests (I), blueberry pine forests (II) and blueberry spruce forests (III), located in the gradient of aerotechnogenic impact of gas and dust emissions from Mondy Syktyvkar JSC.

ных остатков. В пользу последнего фактора свидетельствует близкий уровень содержания массовой доли цинка в почвах всех ППП (табл. 4). В целом, накопление в почвах импактной зоны Mn, Fe и Zn соответствует модулям их поступления в составе газо-пылевых выбросов предприятия, что отражают результаты исследования снежного покрова в зоне влияния Монди СЛПК [7].

В почвах импактной зоны (ППП 3 и ППП 37) отмечено повышенное содержание одного из при-

оритетных загрязнителей – As. В отдельных пробах его концентрация превышала установленные для песчаных почв нормативы ОДК в (1,3±1,7) (ППП 37) – (1,0±2,0) (ППП 3) раз. В почвах буферной зоны и на фоновых участках, особенно в минеральных горизонтах, содержание As, как правило, ниже ОДК (табл. 4).

Концентрация органических поллютантов (углеводородов) в почвах исследованных ППП существенно меньше регламентированного в РФ допус-

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов и мышьяка ($\bar{X} \pm \sigma$) в органогенных и минеральных горизонтах почв пробных площадей, выделенных в различных зонах аэротехногенного влияния АО «Монди СЛПК»

Table 4

The content of heavy metals and arsenic ($\bar{X} \pm \sigma$) in organogenic and mineral horizons of soils of test plots identified in various zones of aerotechnogenic influence of Mondy SyktuykarJSC

Номер (расстояние, км)	Растительное сообщество, тип почвы	Горизонт	Zn	Cu	Pb	Ni	Co	Cd	As	Hg
			мг/кг							
Импактная зона										
ППП 3 (1,3)	Ср, П	О	76±43	8,5±1,6	11±4	7,6±2,1	7±5	0,39±0,07	1,4±0,4	40±13
		A2	34±13	7,4±2,7	14±6	10±5	15±10	0,17±0,04	2,5±9,5	28±7
ППП 37 (3,5)	Еч, Пгр	О	39±11	7,5±0,8	17±4	6,3±1,0	2,2±0,7	0,41±0,09	1,2±0,5	140±27
		A2g	4,3±2,3	1,7±1,3	5±5	2,2±1,3	0,8±0,5	0,11±0,02	0,7±0,5	24±29
Буферная зона										
ППП 13 (7)	Сл, П ^{ИЖ}	О	42±9	4,7±0,8	13, 3±1,7	2,8±0,4	0,47±0,06	0,16±0,04	0,38±0,07	- ²
		A2	<2,5 ¹	0,36±0,08	0,8±0,4	0,26±0,04	0,12±0,02	<0,10	<0,10	-
ППП 14 (14)	Сл, П ^{ИЖ}	О	43±10	4,8±0,4	9±6	2,7±0,7	0,36±0,09	0,19±0,04	0,26±0,12	-
		A2	5,1±1,9	0,94±0,23	4,2±1,7	0,9±0,4	0,25±0,16	<0,10	0,34±0,26	-
ППП 14,5 (14,5)	Сл, П ^{ИЖ}	О	31±9	3,1±0,6	8,1±2,4	2,28±0,22	0,52±0,09	0,14±0,03	0,26±0,09	-
		A2	4,9±0,7	1,2±0,3	5,6±0,7	1,02±0,18	0,31±0,09	<0,10	0,32±0,08	-
ППП 19 (6,5)	Сч, БП ^{ИЖ}	О	44±7	6,3±0,7	11±4	3,3±0,7	0,6±0,2	0,36±0,13	0,44±0,16	96±17
		A2hg	<2,5	0,53±0,13	2,0±0,4	0,63±0,22	0,4±0,7	<0,1	0,19±0,06	8,8±2,2
ППП 2 (12,7)	Сч, П ^{ИЖ}	О	62±9	6,9±1,0	11±4	4,3±0,8	0,7±0,2	0,37±0,06	0,33±0,11	111±31
		A2hg	<2,5	0,26±0,07	0,2±0,5	0,25±0,09	<0,1	<0,1	<0,10	5,8±0,7
ППП 36 (9,5)	Еч, Пгр	О	49±19	7,1±6,1	25±27	5,6±1,7	2,3±0,9	0,6±0,3	0,76±0,21	170±64
		A2hg	7±8	1,6±1,9	5±4	2±2,3	6±6	0,14±0,07	0,6±1,0	21±18
ППП 12,6 (12,6)	Еч, Пгр	О	41±6	5,2±1,0	18,7±5,9	4,5±0,6	1,2±0,4	0,41±0,09	0,6±0,11	217±31
		A2hg	3,1±1,9	0,7±1,0	2,2±1,4	1,0±1,1	0,4±0,5	<0,10	0,29±0,24	10±6
Условный фон										
ППП 35,1 (35,1)	Сл, П ^{ИЖ}	О	35±9	3,6±0,4	12±5	2,28±0,29	0,51±0,15	0,16±0,03	0,24±0,04	
		A2	5,4±1,1	0,89±0,14	4,3±1,1	0,85±0,14	0,30±0,09	<0,10	0,27±,10	
ППП 1 (22)	Сч, П ^{ИЖ}	О	50±9	4,8±1,7	12±3	2,7±0,6	0,5±0,2	0,31±0,12	0,39±0,19	91±20
		A2	19±10	0,6±0,5	1,4±0,4	0,3±0,1	0,15±0,05	<0,10	0,21±0,06	<5
ППП 24 (24)	Еч, Пгр	О	44±15	6,3±1,1	14,6±3,1	4,4±0,9	1,8±0,6	0,41±0,16	0,69±0,18	182±37
		A2g	3,0±1,0	1,1±0,7	2,8±1,3	1,2±0,9	0,38±0,28	<0,10	0,31±0,20	14±5
ОДК/ПДК ³			55	33	32	20	5	0,5	2	2100

Примечание: ¹ – меньше предела обнаружения; ² – не определяли; ³ – приведены ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов, регламентированные для песчаных почв, и предельно допустимые концентрации (ПДК) элементов в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

Note: ¹ – less than the detection limit; ² – not determined; ³ – shows the approximate permissible concentrations (APC) of heavy metals, regulated for sandy soils, and the maximum permissible concentrations (MPC) of elements in accordance with SanPiN 1.2.3685-21.

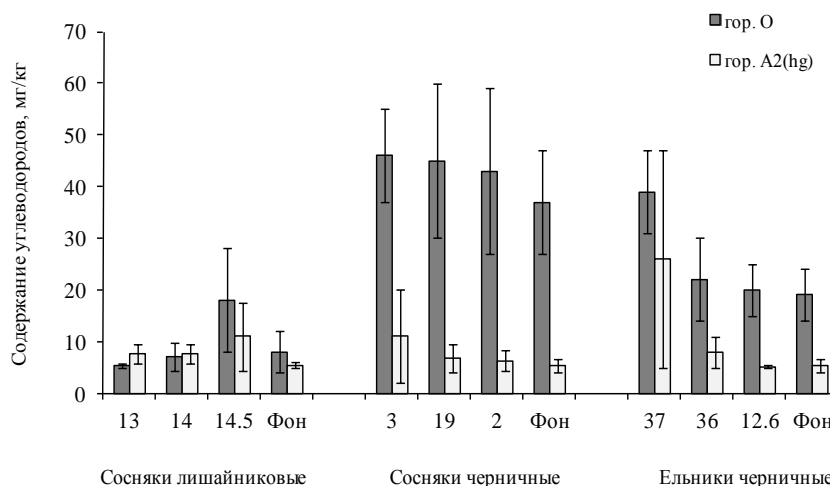


Рис. 5. Содержание углеводородов (нефтепродуктов) в органогенных (гор. O) и минеральных (гор. A2) горизонтах почв пробных площадей, находящихся на разном удалении от источника эмиссии газо-пылевых выбросов АО «Монди СЛПК».

Fig. 5. The content of hydrocarbons (petroleum products) in organogenic (O horizon) and mineral (A2 horizons) soil horizons of plots located at different distances from the source of emission of gas and dust emissions from Mondi Syktывkar JSC.

тимого уровня их содержания в почвах (1000 мг/кг), но выше, особенно в органогенных горизонтах, значений фонового содержания (13 мг/кг), установленных для автоморфных песчаных почв этого района [32, 34]. Отмечен тренд снижения данного показателя по мере удаления от источника эмиссии, особенно в минеральных горизонтах (рис. 5), и снижение в почвах ППП пространственного варьирования данного показателя. В частности в гор. A2(hg) почв ельников черничных коэффициент варьирования снижается от 55 в импактной зоне до 25 % на фоновом участке, почв сосняков черничных – соответственно от 48 до 23 %. Это требует проведения более детальных исследований состава и структуры почвенного органического вещества для оценки влияния аэротехногенных выбросов АО «Монди СЛПК» на состояние почв в наземных экосистемах.

Заклучение

В течение трехлетнего периода выполнена оценка экологического состояния почв наземных экосистем в зоне аэротехногенного влияния АО «Монди СЛПК». Выделенные ключевые участки с разными типами растительных сообществ (сосняки лишайниковые, сосняки черничные и ельники черничные) приурочены к хорошо дренированным ландшафтам водно-ледниковой равнины и боровой террасы р. Вычегды. На кварцевых песках боровой террасы в сосняках лишайниковых представлены подзолы иллювиально-железистые, на водоразделе в сосняках черничных и ельниках черничных – соответственно подзолы иллювиально-железистые, в том числе глееватые, и подзолистые поверхностно-глееватые почвы, развитые на двучленных отложениях (песках, подстилаемых суглинками). Почвы всех исследованных пробных площадей соответствуют по своим морфологическим и физико-химическим свойствам соответствующим зональным типам почв – они кислые, ненасыщены основаниями, их органогенные горизонты характеризуются аккумуляцией органического вещества (в виде слабо

трансформированных, оторфованных растительных остатков) и биофильных элементов, минеральные горизонты бедны органическими соединениями, органическими и минеральными соединениями азота и элементами питания растений.

Детальная оценка физико-химических показателей почв, их сравнительный анализ с учетом пространственного варьирования в пределах пробных площадей свидетельствуют об отсутствии значимых различий между свойствами почв буферной зоны и фоновых участков. Таким образом, на современном этапе функционирования АО «Монди СЛПК» влияние газо-пылевых выбросов предприятия на почвы наземных экосистем прослеживается в основном в импактной зоне. Оно проявляется в: (а) изменении кислотно-основного состояния почв (в сторону подщелачивания); (б) повышении, по сравнению с почвами фоновых участков, содержания Fe и углеводородов; (в) превышении в отдельных образцах почв регламентированных значений ПДК и ОДК для Mn ($(1,0 \pm 5,7)$ ПДК_{Mn}) и As ($(1,0 \pm 2,0)$ ОДК_{As}). Выявленное увеличение в отдельных образцах почв цинка, составляющее $(1,0 \pm 2,0)$ ОДК_{Zn}, скорее всего, связано не с влиянием производственной деятельности АО «Монди СЛПК», а с естественными причинами (аккумуляция Zn в древесине хвойных пород) и, возможно, выбросами автомобильного транспорта.

Исследование выполнено в рамках темы госзадания № АААА-А17-117 122290011-5 и при финансовой поддержке проекта «Оценка долгосрочного влияния АО "Монди СЛПК" на биологическое разнообразие в районе производства» (договор № 45-2018/180405).

Литература

1. Кожемайо Н.П. Состояние развития и концентрация производства целлюлозно-бумажной промышленности Российской Федерации // Лесной вестник. 2008. Вып. № 4. С. 124–129.

2. *Медведева С.А., Тимофеева С.С.* Биотехнологии для повышения экологической безопасности целлюлозно-бумажной промышленности (современное состояние) // *Безопасность в техносфере.* 2013. № 3. С. 28–34.
3. *Пашкевич М.А., Петрова Т.А., Рудзиш Э.* Оценка потенциальной возможности использования лигнин-шламов для лесохозяйственной рекультивации нарушенных земель // *Записки Горного института.* 2019. Т. 235. С. 106–112.
4. *Личутина Т.Ф., Боголицын К.Г., Гумакова М.А.* Экологическая оценка деятельности предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. Перспективные направления утилизации отходов // *Российский химический журнал.* 2011. Т. LV. № 1. С. 101–107.
5. *Старостина В.Ю., Фомина Е.Ю.* Европейский опыт экологически чистого производства в целлюлозно-бумажной промышленности // *Вестник ИрГТУ.* 2011. № 1 (48). С. 202–207.
6. Environmental impact of pulp and paper mills / *D. Gavrilescu, A.C. Puitel, Gh. Dutuc, G. Craciun* // *Environmental Engineering and Management Journal.* 2012. Vol.11. № 1. P. 81–85. DOI: 10.30638/eemj.2012.012
7. Оценка загрязнения снежного покрова органическими соединениями в зоне воздействия выбросов целлюлозно-бумажного комбината / *М.И. Василевич, Д.Н. Габов, В.А. Безносиков, Б.М. Кондратенко* // *Теоретическая и прикладная экология.* 2007. № 3. С. 43–49.
8. *Jaworska H., Matuszczak K., Ryżanski S.* Impact of pulp and paper industry on the content of selected elements in soils and plants // *Catena.* 2020. № 193(104579). P. 1–12. DOI:10.1016/j.catena.2020.104579
9. *Торлопова Н.В., Робакидзе Е.А.* Влияние поллютантов на хвойные фитоценозы (на примере Сыктывкарского лесопромышленного комплекса). Екатеринбург, 2003. 146 с.
10. *Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В.* Изменение видового состава напочвенного покрова ельников и минерального состава листьев *Vaccinium vitis-idaea* и *V. myrtillus* (ericaceae) в условиях аэротехногенного загрязнения в Республике Коми // *Растительные ресурсы.* Антропогенное воздействие на растительные ресурсы. 2014. Т. 49. Вып. 1. С. 65–77.
11. *Робакидзе Е.А., Торлопова Н.В.* Мониторинг состояния ельников в условиях загрязнения целлюлозно-бумажного производства // *Растительные ресурсы.* Антропогенное воздействие на растительные ресурсы. 2018. Т. 54. Вып. 1. С. 42–58.
12. *Тужилкина В.В., Плюснина С.Н.* Комплексная оценка состояния хвои *Picea Obovata* (Pinaceae) в условиях аэротехногенного загрязнения // *Растительные ресурсы.* 2014. Т. 50. Вып. 4. С. 579–587.
13. *Конакова Т.Н., Колесникова А.А., Долгин М.М.* Мезофауна основных лесов Республики Коми в районе действия выбросов лесопромышленного комплекса // *Вестник Поморского университета. Серия: Естественные науки.* 2009. № 3. С. 55–63.
14. Почвенные беспозвоночные в индикации состояния хвойных лесов в районе выбросов сыктывкарского лесопромышленного комплекса / *М.М. Долгин, А.А. Колесникова, Т.Н. Конакова, А.А. Таскаева, Е.Н. Мелехина* // *Теоретическая и прикладная экология.* 2012. № 3. С. 24–35.
15. *Ильчуков С.В.* Ландшафты Республики Коми. Екатеринбург: УрО РАН, 2010. 200 с.
16. Атлас почв Республики Коми / Под ред. *Г.В. Добровольского, А.И. Таскаева, И.В. Забоевой.* Сыктывкар, 2010. 356 с.
17. *Zaidel'man F.R., Dzizenko N.N., Cherkas S.M.* The influence of glezation on the chemical composition of the lysimetric water and the physicochemical properties of the parent rocks: a model experiment // *Eurasian Soil Science.* 2014. Vol. 47. № 12. P. 1187–1197.
18. *Зайдельман Ф.Р.* Глееобразование как фактор почвообразования и деградации почв, способы их защиты // *Почвоведение.* 2017. № 7. С. 849–859.
19. *Забоева И.В.* Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.
20. *Аристархов А.* Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения // *Международный сельскохозяйственный журнал.* 2016. № 5. С. 39–47.
21. *Маслова И.Я.* Воздействие содержащих серу аэротехногенных веществ на некоторые агрохимически значимые процессы и свойства почв // *Агрохимия.* 2008. № 6. С. 80–94.
22. *Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л.* Микробиологическая трансформация азота в почве. М.: Геос, 2007. 137 с.
23. *Razgulín S.M.* Mineralization of nitrogen compounds in soils of south-taiga ecosystems // *Eurasian Soil Science.* 2010. Vol.43. № 6. С. 659–665.
24. *Мамай А.В., Федорец Н.Г., Степанов А.Л.* Процессы азотфиксации и денитрификации в подзолистых почвах хвойных и мелколиственных лесов среднетаежной подзоны Карелии // *Лесоведение.* 2013. № 1. С. 66–74.
25. *Припутина И.В., Зубкова Е.В., Комаров А.С.* Ретроспективная оценка динамики обеспеченности азотом сосновых лесов ближнего Подмосковья по данным фитоиндикации // *Лесоведение.* 2015. № 3. С. 172–181.
26. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрейя-2000, 1999. 768 с.
27. *Герасимов А.О., Чугунова М.В., Поляк Ю. М.* Сезонные изменения противогололедных средств в дерново-подзолистой почве в лабораторном и полевом эксперименте // *Биосфера.* 2019. Т. 11. № 4. С. 171–177.
28. Химический анализ почв. Вопросы и ответы / *Л.А. Воробьева, Д.В. Ладонин, О.В. Лопухина, Т.А. Рудакова, А.В. Кирюшин.* М.: МГУ, 2012. 186 с.
29. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Введ. 01.03.2021. [Электронный ресурс]. – URL: [https:// docs.](https://docs.)

- cntd.ru/document/573500115 (дата обращения 5 апреля 2021 г.).
30. *Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Чуков С.Н.* Ландшафтно-геохимическая оценка фоновое содержания тяжелых металлов в почвах таежной зоны // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. 2010. № 2. С. 114–128.
 31. *Зонн С.В.* Железо в почвах (генетические и географические аспекты). М.: Наука, 1982. 209 с.
 32. *Приказ Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми от 25 ноября 2009 г. № 529 «Об установлении нормативов фоновое содержания химических элементов и углеводов в почвах Республики Коми».*
 33. *Петрова Е.Е., Райхерт Е.В.* Влияние автотранспорта на накопление цинка и свинца в почвах и их биологическое поглощение пшеницей мягкой (*Triticumaestivum*) в придорожных агроценозах (в условиях Алейского района Алтайского края) // Известия Алтайского государственного университета. 2013. № 3–2(79). С. 42–46.
 34. *Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д.* Эколого-геохимическая оценка фоновое содержания углеводов в почвах европейского северо-востока России // Почвоведение. 2010. № 5. С. 591–596. [Beznosikov V.A., Lodygin E.D. Ecological-geochemical assessment of hydrocarbons in soils of Northeastern European Russia // Eurasian Soil Science. 2010. Vol. 43. № 5. С. 550–555].
- References**
1. *Kozhemyako N.P.* Sostojanie razvitija i koncentracija proizvodstva celljulozno-bumazhnoj promyshlennosti Rossijskoj Federacii [The state of development and production concentration of the pulp and paper industry in the Russian Federation] // Lesnoj vestnik [Forest Bull.]. 2008. Issue 4. P. 124–129.
 2. *Medvedeva S.A., Timofeeva S.S.* Biotehnologii dlja povyshenija jekologicheskoj bezopasnosti celljulozno-bumazhnoj promyshlennosti (sovremennoe sostojanie) [Biotechnology to improve the environmental safety of the pulp and paper industry (current state)] // Bezopasnost' v tehnosfere [Safety in Techno-sphere]. 2013. № 3. P. 28–34.
 3. *Pashkevich M.A., Petrova T.A., Rudzish E.* Ocenka potencial'noj vozmozhnosti ispol'zovanija lignin-shlamov dlja lesohozjajstvennoj rekul'tivacii narushennyh zemel' [Assessment of the potential use of lignin sludge for forestry reclamation of disturbed lands] // Zapiski Gornogo instituta [J. of Mining Inst.]. 2019. Vol. 235. P. 106–112.
 4. *Lichutina T.F., Bogolitsyn K.G., Gumakova M.A.* Ekologicheskaja ocenka dejatel'nosti predpriyatij celljulozno-bumazhnoj promyshlennosti. Perspektivnye napravlenija utilizacii othodov [Environmental assessment of the of the pulp and paper industry enterprises activities. Promising directions of waste disposal] // Rossijskij himicheskij zhurnal [Russian J. of General Chemistry]. 2011. Vol. LV. № 1. P. 101–107.
 5. *Starostina V.Yu., Fomina E.Yu.* Evropejskij opyt jekologicheski chistogo proizvodstva v celljulozno-bumazhnoj promyshlennosti [European experience of ecologically pure production in the pulp and paper industry] // Vestnik IrGTU [Proc. of Irkutsk State Techn. Univ.]. 2011. № 1 (48). S. 202–207.
 6. Environmental impact of pulp and paper mills / *D. Gavrilescu, A.C. Puitel, Gh. Dutuc, G. Craciun* // Environmental Engineering and Management Journal. 2012. Vol.11. № 1. P. 81–85. DOI: 10.30638/eemj.2012.012
 7. Ocenka zagrjaznenija sneznogo pokrova organicheskimi soedinenijami v zone vozdejstviya vybrosov celljulozno-bumazhnogo kombinata [Assessment of snow cover pollution with organic compounds in the impact zone of emissions from a pulp and paper mill] / *M.I. Vasilevich, D.N. Gabov, V.A. Beznosikov, B.M. Kondratenok* // Teoreticheskaja i prikladnaja ekologija [Theoretical and Applied J.]. 2007. № 3. P. 43–49.
 8. *Jaworska H., Matuszczak K., Ryzański S.* Impact of pulp and paper industry on the content of selected elements in soils and plants // Catena. 2020. № 193(104579). P. 1–12. DOI:10.1016/j.catena.2020.104579
 9. *Torlopova N.V., Robakidze E.A.* Vlijanie polljutantov na hvojnje fitocenozy (na primere Syktyvkar'skogo lesopromyshlennogo kompleksa) [The influence of pollutants on coniferous phytocenoses (on the example of the Syktyvkar Timber Industry Complex)]. Ekaterinburg, 2003. 146 p .
 10. *Robakidze E.A., Torlopova N.V.* Izmenenie vidovogo sostava napochvennogo pokrova el'nikov i mineral'nogo sostava list'ev Vaccinium vitis-idaea i V. myrtillus (ericaceae) v uslovijah ajerrotehnogennogo zagrjaznenija v Respublike Komi [Changes in the species composition of the soil cover of spruce forests and the mineral composition of the leaves of Vaccinium vitis-idaea and V. myrtillus (eri-caceae) under conditions of industrial air pollution in the Komi Republic] // Rastitel'nye resursy. Antropogennoe vozdejstvie na rastitel'nye resursy [Plant Resources of Russia: Human impact on plant resources]. 2014. Vol. 49. Issue 1. P. 65–77.
 11. *Robakidze E.A., Torlopova N.V.* Monitoring sostojanija el'nikov v uslovijah zagrjaznenija celljulozno-bumazhnogo proizvodstva [Monitoring the condition of spruce forests under pulp and paper production impact] // Rastitel'nye resursy. Antropogennoe vozdejstvie na rastitel'nye resursy [Plant Resources of Russia: Human impact on plant resources] 2018. Vol. 54. Issue 1. P. 42–58.
 12. *Tuzhilkina V.V., Plyusnina S.N.* Kompleksnaja ocenka sostojanija hvoi Picea Obovata (Pinaceae) v uslovijah ajerrotehnogennogo zagrjaznenija [Complex assessment of the condition of needles of Picea Obovata (Pinaceae) under industrial air impact] // Rastitel'nye resursy [Plant Resources of Russia]. 2014. Vol. 50. Issue 4. P. 579–587.

13. *Konakova T.N., Kolesnikova A.A., Dolgin M.M.* Mezofauna sosnovykh lesov respubliky komi v rajone dejstvija vybrosov lesopro-myshlennogo kompleksa [Mesofauna of pine forests of the Komi Republic in the timber industry impact zone] // Vestnik Pomorskogo universiteta. Serija: Estestvennye nauki [Arctic Environmental Research]. 2009. № 3. P. 55–63.
14. Pochvennye bespozvonochnye v indikacii sostojanija hvojnnykh lesov v rajone vybrosov syktyvkar'skogo lesopromyshlennogo kompleksa [Soil invertebrates in the indication of coniferous forests condition in the Syktyvkar Timber Industry Complex impact zone] / *M.M. Dolgin, A.A. Kolesnikova, T.N. Konakova, A.A. Taskaeva, E.N. Melekhina* // Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija [Theoretical and Applied Ecology J.]. 2012. № 3. P. 24–35.
15. *Il'chukov S.V.* Landshafty Respubliki Komi [Landscapes of the Komi Republic], Ekaterinburg: Ural Branch, RAS, 2010. 200 p.
16. Atlas pochv Respubliki Komi [Soil Atlas of the Komi Republic] / Eds. G.V. Dobrovolsky, A.I. Taskaev, I.V. Zaboeva. Syktyvkar, 2010. 356 p.
17. *Zaidel'man F.R., Dzizenko N.N., Cherkas S.M.* The influence of gleyzation on the chemical composition of the lysimetric water and the physicochemical properties of the parent rocks: a model experiment // Eurasian Soil Science. 2014. Vol.47. № 12. P. 1187–1197].
18. *Zaidel'man F.R.* Gleebrazovanie kak faktor pochvoobrazovanija i degradacii pochv, sposoby ih zashhity [Gley formation as a factor of soil formation and degradation, methods of their protection] // Pochvovedenie [Eurasian Soil Science]. 2017. № 7. P. 849–859.
19. *Zaboeva I.V.* Pochvy i zemel'nye resursy Komi ASSR [Soils and land resources of the Komi ASSR]. Syktyvkar, 1975. 344 p.
20. *Aristarkhov A.* Sera v agrojekosistemah Rossii: monitoring sodержanija v pochvah i effektivnost' ee primenenija [Sulfur in agroecosystems of Russia: monitoring of the content in soils and the effectiveness of its use] // Mezhdunarodnyj sel'skohozjajstvennyj zhurnal [Intern. Agricultural J.]. 2016. № 5. P. 39–47.
21. *Maslova I.Ya.* Vozdejstvie sodержashhijh seru ajerotehnogennykh veshhestv na nekotorye agrohimičeski znachimye processy i svoystva pochv [The impact of sulfur-containing air-technogenic substances on some agrochemical significant processes and soil properties] // Agrohimija [AgroChemistry]. 2008. № 6. P. 80–94.
22. *Umarov M.M., Kurakov A.V., Stepanov A.L.* Mikrobiologičeskaja transformacija azota v pochve [Microbiological transformation of nitrogen in soil]. Moscow: Geos, 2007. 137 p.
23. *Razgulin S.M.* Mineralization of nitrogen compounds in soils of south-taiga ecosystems // Eurasian Soil Science. 2010. Vol.43. № 6. P. 659–665.
24. *Mamaj A.V., Fedorets N.G., Stepanov A.L.* Processy azotifikacii i denitrifikacii v podzolistykh pochvah hvojnnykh i melkolistvennykh lesov srednetaezhnoj podzony Karelii [Processes of nitrogen fixation and denitrification in podzolic soils of coniferous and small-leaved forests of the middle taiga subzone of Karelia] // Lesovedenie [Russian J. of Forest Science]. 2013. № 1. P. 66–74.
25. *Priputina I.V., Zubkova E.V., Komarov A.S.* Retrospektivnaja ocenka dinamiki obespečenosti azotom sosnovykh lesov blizhnego Podmoskov'ja po dannym fitoindikacii [Retrospective assessment of the dynamics of nitrogen supply in pine forests of Moscow vicinity based on phytoindication data] // Lesovedenie [Russian J. of Forest Science]. 2015. № 3. P. 172–181.
26. *Perel'man A.I., Kasimov N.S.* Geohimija landshafta [Geochemistry of landscapes]. Moscow: Astreya-2000, 1999. 768 p.
27. *Gerasimov A.O., Chugunova M.V., Polyak Yu.M.* Sezonnnye izmenenija protivogolodnykh sredstv v dernovo-podzolistoj pochve v laboratornom i polevom jeksperimente [Seasonal changes of anti-ice agents in soddy-podzolic soil in laboratory and field experiments] // Biosfera [Biosfera J.]. 2019. Vol. 11. № 4. P. 171–177.
28. Himičeskij analiz pochv. Voprosy i otvety [Chemical analysis of soils. Questions and answers] / *L.A. Vorobyeva, D.V. Ladonin, O.V. Lopukhina, T.A. Rudakova, A.V. Kiryushin*. Moscow: MGU, 2012. 186 p.
29. SanPiN 1.2.3685-21. Gigeničeskie normativy i trebovanija k obespečeniju bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlja čeloveka faktorov sredy obitanija [Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. Intr. 01.03.2021. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115> (accessed April 5, 2021).
30. *Beznosikov V.A., Lodygin E.D., Čukov S.N.* Landshaftno-geohimičeskaja ocenka fonovogo sodержanija tjazhelykh metallov v pochvah taezhnoj zony [Landscape-geochemical assessment of the background content of heavy metals in the soils of the taiga zone] // Vestnik Sankt-Peterburg'skogo universiteta. Serija 3. Biologija [Bull. Of St.Petersburg Univ. Series 3. Biology]. 2010. № 2. P. 114–128.
31. *Zonn S.V.* Zhelezo v pochvah (genetičeskie i geografičeskie aspekty) [Iron in soils (genetic and geographic aspects)]. Moscow: Nauka, 1982. 209 p.
32. *Prikaz Ministerstva prirodnykh resursov i ohrany okružhajushhej sredy Respubliki Komi ot 25 nojabrja 2009 g. № 529* «Ob ustanovlenii normativov fonovogo sodержanija himičeskijh jelementov i uglevodorodov v pochvah Respubliki Komi» [Order of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Komi Republic No. 529 dated November 25, 2009 "On establishing standards for the background content of chemical elements and hydrocarbons in the soils of the Komi Republic".
33. *Petrova E.E., Raikhert E.V.* Vlijanie avtotransporta na nakoplenie cinka i svinca v pochvah i ih biologičeskoe pogloshhenie pshenicej mja-

koj (*Triticumaestivum*) v pridorozhnyh agrocenozah (v uslovijah Alejskogo rajona Altajskogo kraja) [The influence of vehicles on the accumulation of zinc and lead in soils and their biological absorption by soft wheat (*Triticumaestivum*) in roadside agrocenoses (under the conditions of the Aleisky district of the Altai Territory)] // *Izvestija Altajskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proc. of Altai State Univ.]. 2013. № 3–2(79). P. 42–46.

34. *Beznosikov V.A., Lodygin E.D.* Ecological-geochemical assessment of hydrocarbons in soils of Northeastern European Russia // *Eurasian Soil Science*. 2010. Vol. 43. № 5. P. 550–555.

Статья поступила в редакцию 30.09.2021.