

Оригинальная статья / Original article
УДК 631.482
DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-80-90

Почвенные процессы в подзолах песчаных в условиях вариаций климатических параметров лесостепи Среднерусской провинции

Николай П. Неведров, Елена П. Проценко, Ирина П. Балабина, Мария Ю. Фомина, Галина И. Попова
Курский государственный университет, Курск, Россия

Контактное лицо

Николай П. Неведров, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник НИЛ экомониторинга, ФГБОУ ВО «Курский государственный университет»; 305000 Россия, Курская область, г. Курск, ул. Радищева, 33.
Тел. +7(471)270-14-20
Email 9202635354@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1121-0671>

Формат цитирования

Неведров Н.П., Проценко Е.П., Балабина И.П., Фомина М.Ю., Попова Г.И. Почвенные процессы в подзолах песчаных в условиях вариаций климатических параметров лесостепи Среднерусской провинции // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17, N 1. С. 80-90. DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-80-90

Получена 29 августа 2021 г.
Прошла рецензирование 14 декабря 2021 г.
Принята 27 декабря 2021 г.

Резюме

Цель исследования состояла в выявлении влияния фактора климата на протекание почвенных процессов в подзолах песчаных в условиях лесостепи Среднерусской провинции.

Материал и методы. В ходе исследования применялись традиционные (метод почвенной съемки, профильный метод, микробиологические методы и др.) и новейшие методы (прямые измерения (*in situ*) почвенных потоков CO₂) исследования.

Результаты. Установлено, что почвообразовательные процессы в азональных альфегумусовых песчаных почвах рефлексивны к вариациям климатических параметров лесостепной зоны. В более теплых и засушливых условиях лесостепи (южная часть) формируются дерново-подзолы песчаные, в более холодных и увлажненных условиях лесостепи (северная часть) – подзолы песчаные. Дерново-подзолы южной части лесостепи имели более гумусированный почвенный профиль, запасы которого были на 19,2% выше, чем в подзолах. Также дерново-подзолы имели большую обеспеченность элементами минерального питания растений и более высокую микробиологическую активность (численность бактерий в 12,7 раза выше, микромицетов – в 10,5 раза, актиномицетов – в 4,5 раза) чем подзолы песчаные. В летнее время скорость потоков CO₂ из альфегумусовых песчаных почв в северной части лесостепной зоны достигала значения 9,1 г CO₂ м²/сутки, в южной части – 12,5 г CO₂ м²/сутки.

Заключение. В условиях дальнейших изменений климата, которые в лесостепной зоне носят аридный тренд, возможна трансформация подзолов песчаных в дерново-подзолы песчаные.

Ключевые слова

Дерново-подзол, альфегумусовые почвы, эмиссия CO₂, микробиологическая активность, климатические изменения.

Soil processes in sandy podzols under conditions of variations in climatic parameters of the forest steppe of the Central Russian province

Nikolay P. Nevedrov, Elena P. Protsenko, Irina P. Balabina, Maria Yu. Fomina and Galina I. Popova

Kursk State University, Kursk, Russia

Principal contact

Nikolay P. Nevedrov, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Research Laboratory of Environmental Monitoring, Kursk State University; 33 Radishcheva St, Kursk, Kursk Region, Russia 3050000.
Tel. +7(471)270-14-20
Email 9202635354@mail.ru
ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1121-0671>

How to cite this article

Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Balabina I.P., Fomina M.Yu., Popova G.I. Soil processes in sandy podzols under conditions of variations in climatic parameters of the forest steppe of the Central Russian province. *South of Russia: ecology, development*. 2022, vol. 17, no. 1, pp. 80-90. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2022-1-80-90

Received 29 August 2021

Revised 14 December 2021

Accepted 27 December 2021

Abstract

Aim. The aim of the research was to identify the influence of the climate factor on the soil processes in sandy podzols in the forest-steppe of the Central Russian province.

Material and Methods. Traditional methods (soil survey method, profile method, microbiological methods, etc.) and the latest methods (direct measurements [*in situ*] of soil CO₂ emission) of investigation were used.

Results. It has been established that soil formation processes in azonal Al-Fe-humus sandy soils are reflexive to variations in climatic parameters of the forest-steppe zone. In warmer and arid conditions of the forest-steppe (southern part), sandy sod-podzols are formed, in colder and humid conditions of the forest-steppe (northern part) – sandy podzols. The soddy-podzols of the southern part of the forest-steppe can be characterized by a more humous soil profile, the content of which is 19.2% higher than in the sandy podzols. More over sod-podzols have greater availability of mineral nutrition elements for plants and a higher microbiological activity (the number of bacteria is 12.7 times higher, micromycetes – 10.5 times, actinomycetes – 4.5 times) than sandy podzols. In summer, the rate of CO₂ emission in Al-Fe-humus sandy soils in the northern part of the forest-steppe zone reached 9.1 g CO₂ m²/day, in the southern part – 12.5 g CO₂ m²/day.

Conclusion. Further climate changes, which have an arid trend in the forest-steppe zone, can possibly lead to transformation of sandy podzols into sandy sod-podzols.

Key Words

Sod-podzol, Al-Fe-humus soils, CO₂ emission, microbiological activity, climatic changes.

ВВЕДЕНИЕ

Подзолы песчаные — азональный тип почв, сформированный на легких мономинеральных и полиминеральных песчаных отложениях, как правило, приуроченных к аренам рек. Подзолы песчаные занимают около 4% площади суши [1]. Это определяет актуальность исследования этих почв для решения вопросов их рационального использования и дифференциации приемов хозяйствования на разных стадиях их освоения.

Почвообразование альфегумусовых почв слабо зависит от климатических вариаций и однотипно в масштабах от зоны подзолистых почв, до зоны каштановых почв. Это обусловлено гидротермическими особенностями песков [2-4]. Однако имеются данные, свидетельствующие о том, что почвенные разности альфегумусовых почв выделяются даже внутри одной природной зоны, что связано как с воздействием климатического фактора, так и факторов рельефа, биоты, материнской породы и времени [5-8]. Динамика свойств почв и почвенных процессов в подзолах песчаных стремительнее, чем в зональных типах почв [9-12]. Следовательно, экосистемные сервисы подзолов также быстро меняются во времени, что предопределяет необходимость комплексного экологического мониторинга их функций (средообразующей, лесорастительной, углерододепонирующей) и свойств (физических, химических, физико-химических, биологических).

В лесостепной зоне подзолы песчаные встречаются в сосняках, представленных разновозрастными насаждениями сосны обыкновенной [11; 13]. Высадка лесонасаждений в центральной лесостепи на территориях, сложенных флювиогляциальными и древнеаллювиальными песками проводилась с целью решения различных региональных экологических проблем: дефляции,

снижение уровня поверхностных вод, создание зеленых поясов вокруг городов и санитарных зон вокруг промышленных предприятий. Сформированные лесные экосистемы представляют собой сукцессионные серии, имеющие отчетливо выраженный тренд, направленный на смену соснового леса на климаксовый широколиственный лес — дубраву [11; 13]. Скорость таких сукцессий вариабельна в географическом аспекте и зависит от многих факторов, среди которых значимую роль играют климатические параметры. Исследование особенностей влияния климата на протекание почвенных процессов в частности и трансформацию экосистем в целом особенно актуально ввиду глобальных климатических изменений [14; 15].

Целью настоящего исследования являлось определение влияния фактора климата на протекание почвенных процессов в подзолах песчаных в условиях лесостепи Среднерусской провинции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось в вегетационный сезон 2021 года. Рассматривались свойства почв и особенности протекания почвенных процессов в сходных лесных экосистемах лесостепной зоны, различающихся по географическому положению. В качестве ключевых объектов были выбраны сосновые лесонасаждения в Железногорском районе Курской области (Кармановское лесничество) и в Новооскольском районе Белгородской области (Новооскольское лесничество). В качестве «северного участка» рассматривалось насаждение сосны обыкновенной в Кармановском лесничестве, а в качестве южного участка — в Новооскольском лесничестве. Расстояние между участками в направлении с севера-запада на юго-восток — 230 км (рис. 1).

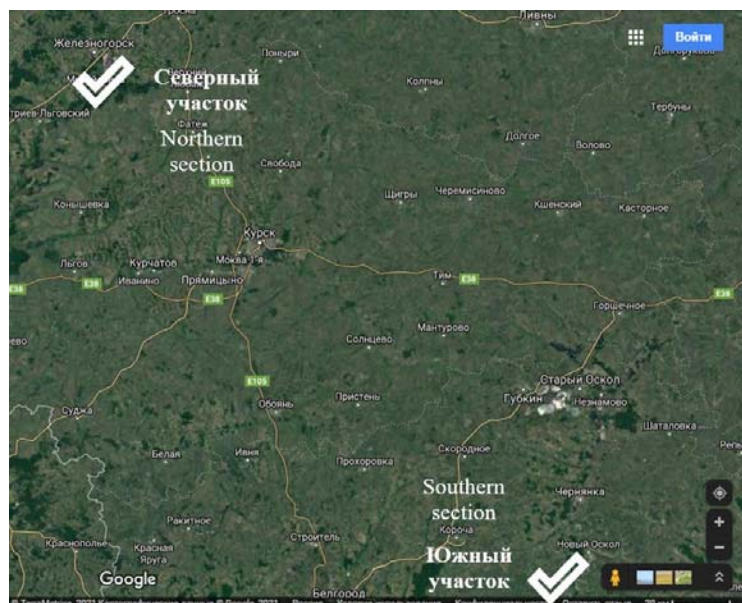


Рисунок 1. Географическое расположение ключевых объектов исследования

Figure 1. Geographic location of key research objects

По климатическим показателям исследуемые объекты существенно отличаются, так на северо-западе Курской области в среднем выпадает 550-640 мм осадков в год, а на юге и востоке Белгородской области среднегодовая норма осадков – около 400 мм. Среднегодовые температуры на исследуемых объектах также разнятся 5,9°C – северный участок, 6,8°C – южный участок. В целом, южный участок характеризуется более теплым и

засушливым [16] климатом относительно северного участка.

Исследуемые участки располагались в надпойменных террасах рек Свапа и Оскол. Надпойменные террасы сложены флювиогляциальными и древнеаллювиальными песками. Почвенный покров северного участка преимущественно представлен подзолами иллювиально-железистыми псевдофибровыми песчаными (рис. 2 А).

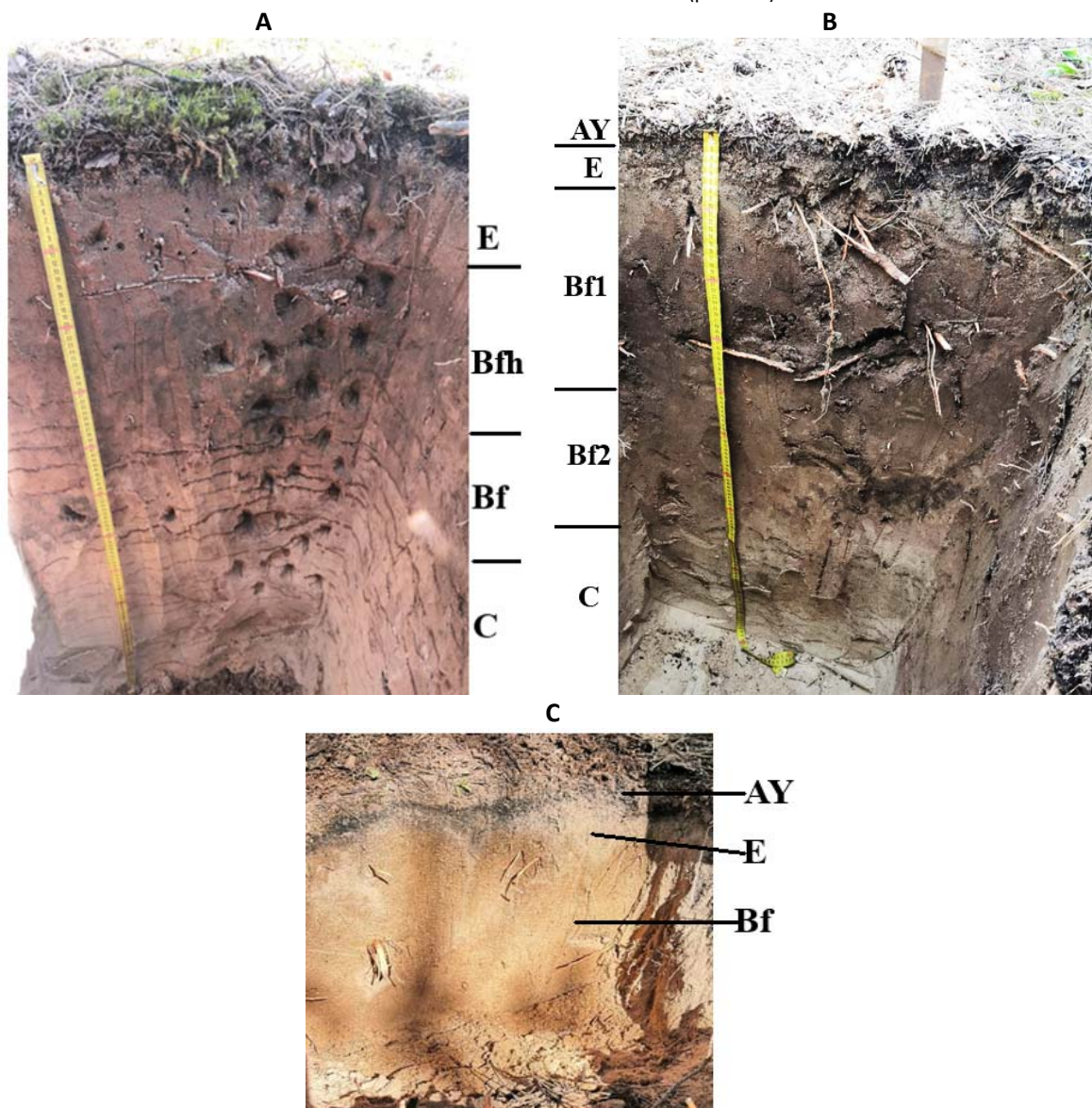


Рисунок 2. Почвенные профили исследуемых участков
Figure 2. Soil profiles of the study areas

Почвенный профиль имел следующее строение: О (0-2 см) органогенный горизонт подстильно-торфяной горизонт в нижней части отмечалась тонкая прослойка темной оторфованной органики; Е (2-16 см) окраска по Munsell 10 YR 7/1, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, зерна минералов полностью лишены пленок, обильно пронизан корнями, переход плавный, постепенный по окраске; Bfh (16-42 см) окраска по Munsell 10 YR 6/4, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый,

зерна минералов покрыты тонкими буроватыми (железистыми) пленками, железистые примазки обильно пятнами от 1 до 5 см в поперечнике, затеки гумуса по ходам корней, обильно пронизан корнями сосны, переход постепенный по окраске; Bf (42-87 см) окраска по Munsell 10 YR 8/4, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, субгоризонтальные псевдофибры темновато-бурого цвета шириной до 1 см, корни сосны обыкновенной – редко; С (87-110 см) окраска по Munsell 10 YR 8/2,

влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, псевдофибры бурого (железистого) цвета шириной до 1-2 мм.

Почвенный профиль южного участка был представлен дерново-подзолом иллювиально-железистым песчаным и заметно отличался по морфологии от описанного выше профиля (рис. 2В, 2С): О (0-1 см) органогенный горизонт подстильно-торфяной горизонт; АУ (2-4 см) окраска по Munsell 5 YR 5/1, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, большинство зерен минералов (80%) покрыты темными пленками, примерно 20% зерен минералов полностью лишены пленок, обильно пронизан корнями растений, переход четкий по окраске; Е (4-8 см) окраска по Munsell 5 YR 7/1, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, зерна минералов полностью лишены пленок, затеки гумуса в виде прожилок 0,5-1 см, пронизан корнями, переход четкий по окраске; Вf1 (8-40 см) окраска по Munsell 5 YR 6/3, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, зерна минералов покрыты тонкими темно-буроватыми пленками, обильно пронизан корнями сосны, переход постепенный по окраске; Вf2 (40-74 см) окраска по Munsell 5 YR 7/4, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, железисто-марганцевые конкреции диаметром до 5 мм, железистые примазки – пятна 1-2 см, корни сосны обыкновенной – редко; С (74-112 см) окраска по Munsell 5 YR 8/4, влажноватый, песчаный, бесструктурный, рыхлый, псевдофибры бурого (железистого) цвета шириной до 1-2 мм.

Характеристика растительного покрова

Северный участок: 1-й ярус – сосна обыкновенная (высота древостоя 19-22 м, сомкнутость крон около 70%), 2-й ярус представлен редким подростом лиственных пород до 3-4 метров высотой – дуб черешчатый (*Quercus robur*), береза белая (*Betula alba*), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia*), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*). В 3-м ярусе наблюдались полукустарник – малина лесная (*Rubus idaeus*) и травянистые растения – чистотел большой (*Chelidonium majus*), ландыш майский (*Convallaria majalis*) (куртинами по 5-10 м²), злаки (*Poaceae*) (редко на осветленных участках), орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum*), земляника лесная (*Fragaria vesca*). Напочвенный покров (4-й ярус) – мохово-лишайниковый. Южный участок: 1-й ярус – сосна обыкновенная (высота древостоя 19-22 м, сомкнутость крон около 75%). Во втором ярусе наряду с лиственными породами (дуб черешчатый (*Quercus robur*), береза белая (*Betula alba*), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), вяз гладкий (*Ulmus laevis*), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosus*) в межкروновых пространствах отмечалось активное возобновление сосны обыкновенной. Высота древостоя второго яруса 2-4 метра. Третий ярус: чистотел большой (*Chelidonium majus*), злаки (*Poaceae*) (обильно на осветленных участках), очиток большой (*Sedum maximum*), молочай острый (*Euphorbia esula*), герань Роберта (*Geranium robertianum*), подмаренник

трехцветковый (*Gallium triflorum*), недотрога мелкоцветковая (*Impatiens parviflora*), сныть обыкновенная (*Aegopodium podagraria*) (очень редко). Четвертый ярус (напочвенный покров) – мохово-лишайниковый – очень редко, маленькими островками по 20-30 см в диаметре. Наличие ксерофитных травянистых растений и отсутствие влаголюбивых видов свидетельствует о более аридных климатических условиях на южном участке относительно северного участка исследования.

Пробы почв в почвенных профилях отбирались сопряженно с генетическими горизонтами. В каждом из исследуемых лесных массивах на репрезентативных участках было заложено по три почвенных разреза и по пять скважин буром-пробоотборником. Отбор проб почв проводился в соответствии с [17; 18]. С применением стандартных методик определялись базовые химические и физико-химические свойства: органическое вещество по Тюрину [19], pH KCl [20] щелочногидролизуемый азот [21], подвижный фосфор [22], обменный калий [22]. Определение подвижных форм тяжелых металлов проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии. Пробоподготовка – подвижные формы ТМ извлекались вытяжкой ацетатно-аммонийного буфера pH = 4,8 [23].

Функциональные группы почвенных микроорганизмов – бактерии, грибы, актиномицеты определялись на следующих питательных средах: ГМФ-агар, среда Чапека, среда Гаузе I. Отбор проб почв для химического и микробиологического анализа проводился в первой декаде мая.

На исследуемых участках проводилось измерение почвенных потоков диоксида углерода камерным методом. Для этого за 60 минут до замера в почву на глубину 5 см врезались десять напочвенных оснований (диаметр – 20 см). С помощью зажимов на них герметично закреплялась экспозиционная камера объемом 7,2 литра (диаметр – 20 см). Прямое измерение потоков CO₂ осуществлялось *in situ* с помощью мобильного инфракрасного газоанализатора, встроенного в крышку основания. Измерения проводились весной (в первой декаде мая) и летом (в третьей декаде июня) с 9:00 до 13:00 ч. Одновременно с измерением эмиссии CO₂ в каждой точке определяли температуру (термометром Checktemp, Hanna, Германия; слой 0-10 см, измерение у основания) и влажность почвы (влагомер МГ-44, Россия; слой 0-10 см, измерение у основания) в трех повторениях, температура воздуха снаружи и внутри камеры.

Статистическая обработка данных проводилась с применением средств пакета анализа прикладных программ Microsoft Office 2010 (Microsoft Excel).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Почвообразовательные процессы подзолов песчаных на исследуемых участках имели явные различия, которые приводили к формированию разных типов почв – подзола песчаного и дерново-подзола песчаного. В почвах южного участка подзолистый

процесс был менее развит, чем в почвах северного. Мощность подзолистого горизонта в почвах южного участка была в 3,5 раза меньше. Также в почвах южного участка диагностировали наличие серогумусового горизонта (АУ), что свидетельствует о развитии дернового процесса. Распределение органического вещества в исследуемых почвах – резко убывающее вниз по профилю. Содержание

органического вещества в серогумусовом и подзолистом горизонтах было значительно выше в почвах южного участка. Почвенный профиль дерново-подзола (южный участок), в целом, более гумусирован, чем профиль подзола (северный участок), что наглядно отражает показатель запаса гумуса в метровой толще почвы, значения которого на 19,2% выше у дерново-подзола (табл. 1).

Таблица 1. Химические и физико-химические свойства подзолов песчаных в зависимости от географического местоположения

Table 1. Chemical and physicochemical properties of sandy podzols depending on geographic location

Генетический горизонт (мощность см) Genetic horizon (thickness cm)	Органическое вещество, % Organic matter, %	pH _{KCl}	P ₂ O ₅ , мг/кг P ₂ O ₅ , ppm	K ₂ O, мг/кг K ₂ O, ppm	N щ.г., мкг/кг Nitrogen content, ppm	Запас гумуса, т/га Humus stock, t/ha
Новооскольское лесничество (южный участок) Novooskolskoe forestry (southern section)						
AY (2)	7,4±1,1	4,4±0,2	40±5	100±7	95±6	37,0±3,3
E (4)	0,7±0,1	4,2±0,1	27±3	45±4	50±2	
Bf ₁ (32)	0,3±0,01	4,1±0,1	56±6	32±3	27±2	
Bf ₂ (34)	0,14±0,01	4,3±0,1	28±4	30±1	28±3	
C (30)	0,05±0,01	4,7±0,2	23±2	27±1	30±4	
Кармановское лесничество (северный участок) Karmanovskoe forestry (northern section)						
E (14)	0,6±0,1	4,0±0,2	30±1	37±2	43±1	26,9±2,5
Bfh (26)	0,33±0,02	4,3±0,2	116±3	38±2	31±1	
Bf (45)	0,12±0,03	4,3±0,1	53±4	39±2	46±2	
C (22)	0,12±0,01	4,8±0,3	36±6	24±4	42±1	

По-видимому, это связано с количеством выпадающих осадков. На северном участке их выпадает значительно больше, в результате чего с большей периодичностью возникает ухудшение аэрации и снижается активность протекания аэробных процессов.

Реакция среды в почвах исследуемых участков варьировала по профилю от сильноокислых до среднеокислых значений, что связано с высоким содержанием обменного алюминия и составом органического опада (хвоя сосны) [2]. Кислотность убывала вниз по профилю. В подзолистых горизонтах подзола и дерново-подзола кислотность была значительно выше, чем в других минеральных горизонтах (табл. 1).

Профильное распределение подвижного фосфора в дерново-подзолах носило прогрессивно-элювиально-иллювиальный характер, в подзолах – регрессивно-элювиально-иллювиальный. В алфегумусовых горизонтах подзолов (северный участок) содержание подвижного фосфора было 2,07 раза выше, чем в альфегумусовых горизонтах дерново-подзолов (южный участок), что обусловлено более интенсивной вертикальной миграцией фосфоорганических соединений, предопределяемой большим количеством выпадающих осадков на северном участке.

Обменный калий и органический азот распределены в профиле дерново-подзола по аккумулятивному типу распределения, в профиле подзола – по элювиально-иллювиальному типу, что, опять же, можно объяснить степенью оподзоленности почв и различиями водного режима на исследуемых участках. Стоит отметить, что в верхней части профиля дерново-подзола (южный участок) накапливалось в 2,2-2,7 раза больше обменного калия и легкогидролизуемых форм азота, чем в верхней части профиля подзола (северный участок) (табл. 1).

Профильное распределение микроэлементов и свинца в почвах северного участка носило аккумулятивный характер и плавно убывало вниз по профилю, за исключением подвижных форм меди, для которой был характерен регрессивно-элювиально-иллювиальный тип распределения (табл. 2).

В профиле дерново-подзола (южный участок) максимальное количество тяжелых металлов (кроме железа) содержалось в серогумусовом горизонте, что обусловлено относительно высоким содержанием органического вещества, способствующего удержанию и накоплению ТМ. Для Fe отмечали регрессивно-элювиально-иллювиальный тип распределения по профилю, для Mn и Pb – аккумулятивный, для Zn и Ni – прогрессивно-элювиально-иллювиальный, для меди – недифференцированный.

Таблица 2. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в подзолах песчаных в зависимости от географического местоположения**Table 2.** Content of mobile forms of heavy metals in sandy podzols depending on geographic location

Генетический горизонт Genetic horizon	Содержание подвижных форм тяжелых металлов, мг/кг Concentration of mobile forms of heavy metals, mg/kg					
	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Pb
Новооскольское лесничество (южный участок) Novooskolskoe forestry (southern section)						
AY (2)	11,3±0,4	12,5±0,8	0,16±0,03	1,61±0,32	0,43±0,03	1,4±0,2
E (4)	23,0±0,9	3,8±0,2	0,17±0,04	0,25±0,01	0,22±0,02	0,8±0,1
Bf₁ (32)	19,1±0,8	1,2±0,1	0,21±0,02	0,15±0,02	0,34±0,02	0,3±0,1
Bf₂ (34)	9,7±0,9	0,4±0,1	0,18±0,03	0,18±0,04	0,16±0,02	0,3±0,1
C (30)	7,0±0,5	0,3±0,1	0,18±0,04	0,73±0,11	0,19±0,02	0,4±0,1
Кармановское лесничество (северный участок) Karmanovskoe forestry (northern section)						
E (14)	41,8±2,2	8,7±0,5	0,16±0,03	0,35±0,01	0,49±0,02	0,8±0,1
Bfh (26)	35,8±1,4	2,7±0,2	0,24±0,04	0,18±0,01	0,20±0,01	0,5±0,1
Bf (45)	15,1±0,9	1,8±0,3	0,18±0,02	0,16±0,01	0,27±0,01	0,5±0,1
C (22)	5,4±0,6	0,3±0,1	0,17±0,02	0,17±0,01	0,17±0,1	0,5±0,1

В почвах южного участка показатель содержания подвижного железа уступал таковому в почвах северного участка, что можно объяснить чаще возникающим избыточным увлажнением, сопровождающимся восстановительными условиями среды. В виду относительно интенсивных процессов выщелачивания в иллювиально-железистом горизонте подзола массовые концентрации подвижных Fe, Mn, Ni и Pb были значимо выше (на 55,6%, 40,0%, 56,3% и 66,6% соответственно), чем в аналогичном горизонте дерново-подзола. Также более кислая среда в подзолистом горизонте почв

северного участка способствовала повышению мобильности практически всех ТМ по сравнению с южным участком (табл. 2).

Исследуемые почвы имели значительные различия в показателях микробиологической активности. В дерново-подзолах южного участка численность бактерий и микроскопических грибов была выше в 2,1-12,7 и в 2,5-10,5 раза соответственно, что объясняется более высоким уровнем обеспеченности почв органическим азотом и более оптимальными условиями аэрации, достигающимися за счет меньшей влажности почвы (табл. 3; рис. 3).

Таблица 3. Микробиологическая активность подзолов песчаных в зависимости от географического местоположения**Table 3.** Microbiological activity of sandy podzols depending on geographic location

Генетический горизонт (глубина отбора) Genetic horizon (sampling depth)	Количество почвенных микроорганизмов, КОЕ/г почвы Number of soil microorganisms, CFU/g soil		
	Бактерии на ГМФ-агаре Bacteria on agar	Грибы на среде Чапека Fungi on Czapek's feed medium	Актиномицеты на среде Гаузе-1 Actinomycetes on Gause-I medium
Новооскольское лесничество (южный участок) Novooskolskoe forestry (southern section)			
AY (2-4)	71,0*10 ⁸ ±3,0	2,0*10 ² ±0,08	46,27*10 ⁸ ±2,5
E (4-8)	1,32*10 ⁸ ±0,2	3,29*10 ² ±0,1	35,08*10 ⁸ ±0,9
Bf (20-40)	0,402*10 ⁸ ±0,03	0,54*10 ² ±0,03	28,15*10 ⁸ ±0,5
Кармановское лесничество (северный участок) Karmanovskoe forestry (northern section)			
E (2-10)	5,621*10 ⁸ ±0,13	0,19*10 ² ±0,02	23,21*10 ⁸ ±1,1
Bfh (20-40)	0,0475*10 ⁸ ±0,003	0,19*10 ² ±0,04	7,76*10 ⁸ ±0,2
Bf (40-60)	0,0188*10 ⁸ ±0,002	0,22*10 ² ±0,03	13,43*10 ⁸ ±0,1

Численность актиномицетов также была выше в почвах южного участка в 2-4,5 раза, что, скорее всего, объясняется более высокой обеспеченностью дерново-подзола минеральным азотом.

Сезонная динамика влажности почв на обоих исследуемых участках имела тренд, направленный на снижение этого показателя в летнее время относительно весеннего периода (на 8,2-

28,6%). Сезонная динамика температурного режима характеризовалась диаметрально противоположно направленным трендом. Как на северном, так и на южном участках показатель увеличивался в летний период на 94-98%, относительно его весенних значений (рис. 3).

Скорость потоков CO_2 из исследуемых почв также значительно возрастала в летнее время на 79,3% на северном участке и на 114,8% – на южном, что в большей степени обусловлено повышением температуры почв.

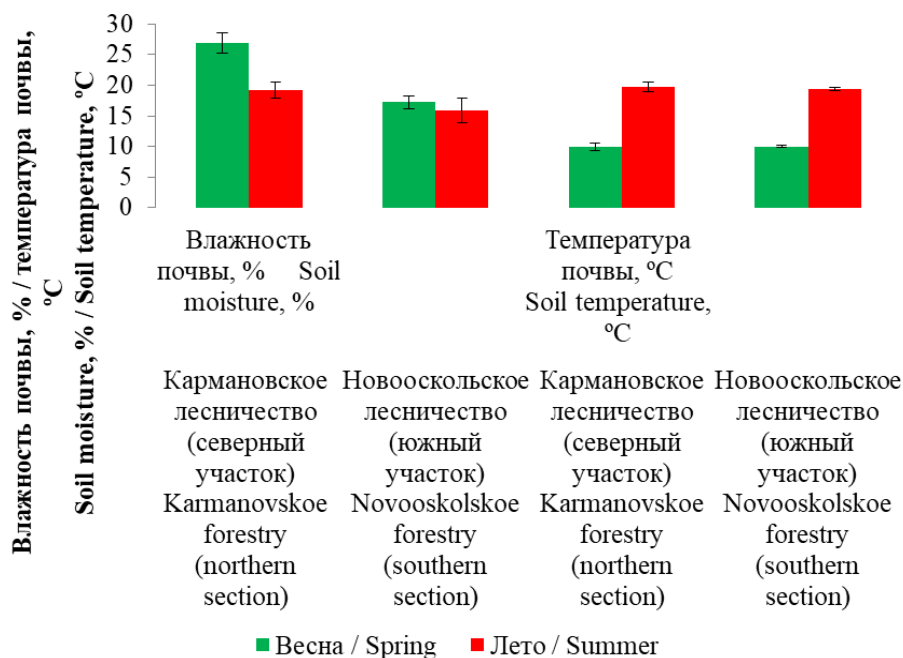


Рисунок 3. Краткосрочная (сезонная) динамика гидротермических свойств альфегумусовых почв лесостепи Среднерусской провинции в условиях вариаций климатических параметров

Figure 3. Short-term (seasonal) dynamics of the hydrothermal properties of the Al-Fe-humus soils of the forest-steppe of the Central Russian province under conditions of variations in climatic parameters

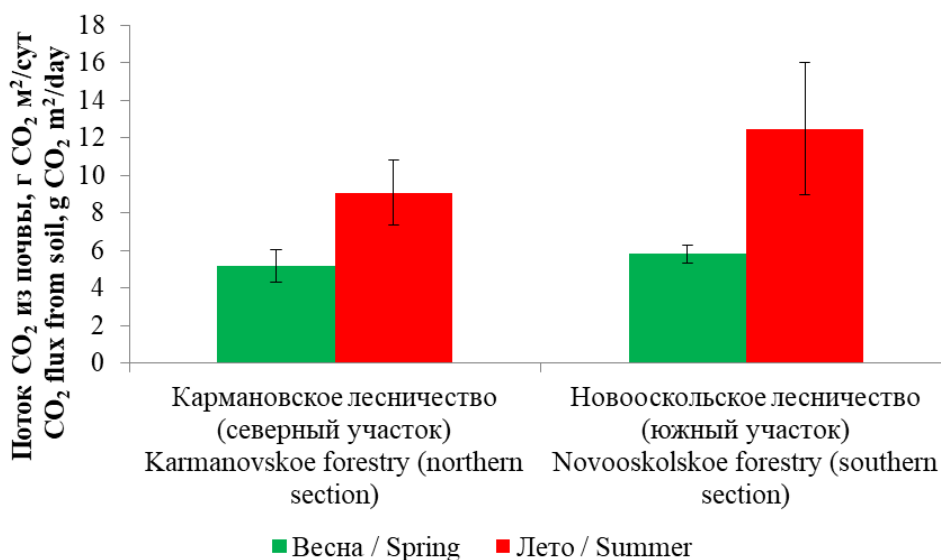


Рисунок 4. Краткосрочная (сезонная) динамика эмиссии CO_2 и альфегумусовых почв лесостепи Среднерусской провинции в условиях вариаций климатических параметров

Figure 4. Short-term (seasonal) dynamics of CO_2 and Al-Fe-humus soils emission in the forest-steppe of the Central Russian province under conditions of variations in climatic parameters

Несмотря на различия в численности почвенных микроорганизмов скорость потоков CO_2 из почв южного и северного участков существенно не

различалась в весеннее время. По-видимому, доля автотрофного дыхания (биомасса корней) на исследуемых участках также имела существенные

различия. В летние месяцы скорость эмиссии CO₂ из дерново-подзолов южного участка была на 37,6±13,2% выше, чем из подзолов южного участка, что, очевидно, связано с более высокой микробиологической активностью дерново-подзолов. Стоит также отметить, что в летнее время значительно возросла пространственная вариабельность показателя скорости эмиссии внутри каждого из участков, что указывает на повышение пространственной изменчивости биологических свойств почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвообразовательные процессы в легких альфегумусовых почвах сосновых лесонасаждений лесостепной зоны изменяются в направлении с северо-запада на юго-восток, что в большей степени обусловлено сменой климатических характеристик (сочетание тепла и влаги). Такие изменения прослеживаются уже в масштабе 200-250 км. Под монодоминантными насаждениями сосны обыкновенной на флювиогляциальных и древнеаллювиальных песках в южной части лесостепи формируются дерново-подзолы песчаные, в северной – подзолы песчаные с разной степенью оподзоленности. В южной части лесостепной зоны в альфегумусовых почвах происходит активное развитие дернового процесса, сопровождающегося аккумуляцией органического вещества, элементов минерального питания растений, повышением микробной биомассы почвы в верхней части профиля и формированием серогумусовых горизонтов (AY). Микробиологическая активность дерново-подзолов южной части лесостепи Среднерусской провинции была в 12,7 раза выше для бактерий, 10,5 раза – для микромицетов и 4,5 раза – для актиномицетов. Скорость потоков CO₂ из альфегумусовых почв значительно возросла в летнее время. В северной части лесостепной зоны скорость эмиссии из подзолов песчаных в летнее время достигала 9,1 г CO₂ м²/сутки, в южной части из дерново-подзолов – до 12,5 г CO₂ м²/сутки. При дальнейшей аридизации климата возможно последовательное наступление географического смещения характеристик почвообразовательных процессов в направлении с юго-востока на северо-запад, которое может сопровождаться сохранением сосновых насаждений в виду их ксерофитности и олиготрофности и протеканием почвенной сукцессии в ряду «подзол-песчаный => дерново-подзол песчаный».

БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук (проект – МК-416.2021.1.4).

ACKNOWLEDGMENT

The research was carried out with support of Grant of the President of the Russian Federation for Young Russian Scientists – Candidates of Sciences (Project – МК-416.2021.1.4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Britannica. The Editors of Encyclopaedia. "Podzol". *Encyclopedia Britannica*, 16 Dec. 2010, Available at: <https://www.britannica.com/science/Podzol>. (accessed 11.08.2021)
2. Гаяль А.Г., Смирнова Л.Ф. Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
3. Гаяль А.Г., Маланьин А.Н. Об особенностях почвообразования на песках и о дерновых неоподзоленных почвах // Почвоведение. 1977. N 4. С. 23-34.
4. Соболев С.С. Пески европейской части СССР. Природа. 1939. N 9. С. 27-34.
5. Шопина О.В., Кадетов Н.Г., Семенов И.Н. Фиторазнообразие в Полесских ландшафтах Керженского заповедника // Материалы VIII Всероссийской научной конференции с международным участием «Лесные почвы и функционирование лесных экосистем», Москва, 24-27 сентября, 2019. С. 143-146.
6. Яшин И.М., Кузнецов П.В., Петухова А.А. Экогеохимическая оценка почв и лесопарковых фаций Петрозаводска // Известия ТСХА. 2011. N 4. С. 30-43.
7. Mokma D., Yli-Halla M., Lindqvist K. Podzol formation in sandy soils of Finland. *Geoderma*. 2004. V. 120. P. 259-272. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.008> (accessed 07.08.2021)
8. Sauer D., Schüllli-Maurer I., Sperstad R., Sørensen R., Stahr K. Podzol development with time in sandy beach deposits in southern Norway // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2008. V. 171. P. 483-497. Available at: <https://doi.org/10.1002/jpln.200700023> (accessed 07.08.2021)
9. Дымов А.А., Лаптева Е.М. Изменение подзолистых почв на двучленных отложениях при рубках // Лесоведение. 2006. N 3. С. 42-49.
10. Ильинцев А.С., Богданов А.П., Быков Ю.С. Динамика физических свойств подзолистой почвы на вырубках при естественном зарастании // Лесн. журн. 2019. N 5. С. 70-82. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.70
11. Неведров Н.П., Фомина М.Ю., Проценко Е.П., Протасова М.В., Балабина Н.А., Сапронова С.Г., Смицкая Г.И. Почвенные сукцессии подзолов и дерново-подзолов песчаных лесостепи при смене лесобразующих пород // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. N 2. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/2/st_213.pdf. (дата обращения: 12.08.2021) DOI: <https://doi.org/10.51419/20212213>
12. Pollmann T., Tsukamoto S., Frechen M., Giani L. Rate of soil formation in Arenosols of dunes on Spiekeroog Island (Germany) // *Geoderma Regional*. 2020. V. 20. e00246. DOI: 10.1016/j.geoderma.2019.e00246
13. Неведров Н.П., Проценко Е.П., Дроздова Я.Э., Фомина М.Ю. Трансформация некоторых свойств подзолов песчаных при заселении *Robinia pseudoacacia* L. в сосновые леса города Курска // Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции «Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения», Краснодар, 29-31 марта, 2021. С. 325-327.
14. Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Ваганов Е.А., Верховец С.В., Рубцов А.В.. Динамика потоков CO₂ с поверхности почвы в сосновых древостоях Средней Сибири // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2016. Т. 9. N 3. С. 338-357.

15. Powers J.S., Schlesinger W.H. Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rain forests of northeastern Costa Rica // *Geoderma*. 2002. V. 109. P. 165-190.
16. Воинова Н.Е., Кабанова Р.В., Кудинова М.Р. География: природа, население, хозяйство. Курск : Изд-во Курс. гос. пед. ун-та, 2001. 320 с.
17. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. М.: Стандартиформ, 2008. 5 с.
18. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартиформ, 2004. 4 с.
19. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1993. 6 с.
20. ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1985. 4 с.
21. Методические указания по определению щелочногидролизуемого азота в почве по методу Корнфилда. М.: Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства МСХ СССР (ЦИНАО), 1985. 8 с.
22. ГОСТ 26204-91 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1993. 6 с.
23. РД 52.18.289-90 Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. М.: Государственный комитет СССР по гидрометеорологии, 1990. 36 с.
- https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.09.008 (accessed 07.08.2021)
8. Sauer D., Schüllli-Maurer I., Sperstad R., Sørensen R., Stahr K. Podzol development with time in sandy beach deposits in southern Norway. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2008, vol. 171, pp. 483-497. Available at: <https://doi.org/10.1002/jpln.200700023> (accessed 07.05.2021)
9. Dymov A.A., Lapteva E.M. Changes in podzolic soils on binomial sediments during felling. *Lesovedenie* [Forest science]. 2006, no. 3, pp. 42-49. (In Russian)
10. Ilintsev A.S., Bogdanov A.P., Bykov Yu.S. Dynamics of physical properties of podzolic soil in clearings during natural overgrowth. *Forest. Zhurn*, 2019, no. 5. pp. 70-82. (In Russian) DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.5.70
11. Nevedrov N.P., Fomina M.Yu., Protsenko E.P., Protasova M.V., Balabina N.A., Sapronova S.G., Smitskaya G.I. Soil successions of podzols and sod-podzols of sandy forest-steppe during the change of forest-forming species. *AgroEkolInfo: Elektronnyi nauchno-proizvodstvennyi zhurnal*, 2021, no. 2. (In Russian) Available at: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/2/st_213.pdf (accessed 12.08.2021) DOI: 10.51419/20212213
12. Pollmann T., Tsukamoto S., Frechen M., Giani L. Rate of soil formation in Arenosols of dunes on Spiekeroog Island (Germany). *Geoderma Regional*, 2020, vol. 20, pp. e00246. DOI: 10.1016/j.geodrs.2019.e00246
13. Nevedrov N.P., Protsenko E.P., Drozdova Ya.E., Fomina M.Yu. Transformatsiya nekotorykh svoystv podzolov peschanykh pri zaselenii Robinia pseudoacacia L. v sosnovye lesa goroda Kurska [Transformation of some properties of sandy podzols during the colonization of Robinia pseudoacacia L. in the pine forests of the city of Kursk]. *Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchnoi ekologicheskoi konferentsii «Problemy transformatsii estestvennykh landshaftov v rezul'tate antropogennoi deyatel'nosti i puti ikh resheniya»*, Krasnodar, 29-31 marta, 2021 [Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific Ecological Conference "Problems of transformation of natural landscapes as a result of anthropogenic activities and ways to solve them", Krasnodar, March 29-31, 2021]. Krasnodar, 2021, pp. 325-327. (In Russian)
14. Makhnykina A.V., Prokushkin A.S., Vaganov E.A., Verkhovets S.V., Rubtsov A.V. Dynamics of CO₂ fluxes from the soil surface in pine stands of Central Siberia. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya*. [Journal of the Siberian Federal University. Biology]. 2016, vol. 9, no. 3, pp. 338-357. (In Russian)
15. Powers J.S., Schlesinger W.H. Relationships among soil carbon distributions and biophysical factors at nested spatial scales in rain forests of northeastern Costa Rica. *Geoderma*, 2002, vol. 109, pp. 165-190.
16. Voinova N.Ye., Kabanova R.V., Kudinova M.R. *Geografiya: priroda, naselenie, khozyaistvo* [Geography: nature, population, economy]. Kursk, KSPU Publ., 2001, 320 p. (In Russian)
17. GOST 28168-89. *Pochvy. Otbor prob* [GOST 28168-89: Soils. Sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 2008, 5 p. (In Russian)
18. GOST 17.4.3.01-83. *Okhrana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob* [GOST 17.4.3.01-83. Nature protection. Soils. General requirements for sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 2004, 4 p. (In Russian)
19. GOST 26213-91. *Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva* [GOST 26213-91. Soils. Methods for determination of organic matter]. Moscow,

REFERENCES

1. Encyclopedia Britannica. The Editors of Encyclopaedia. "Podzol". Available at: <https://www.britannica.com/science/Podzol> (accessed 11.08.2021)
2. Gael A.G., Smirnova L.F. *Peski i peschanye pochvy* [Sands and sandy soils]. Moscow, GEOS Publ., 1999, 252 p. (In Russian)
3. Gael A.G., Malan'in A.N. On the peculiarities of soil formation on sands and on soddy non-podzolized soils. *Pochvovedenie* [Soviet Soil Science]. 1977, no. 4, pp. 23-34. (In Russian)
4. Sobolev S.S. Sands of the European part of the USSR. *Priroda* [Nature]. 1939, no. 9, pp. 27-34. (In Russian)
5. Shopina O.V., Kadetov N.G., Semenov I.N. Fitoraznoobraziya v Poleskikh landshaftakh Kerzhenskogo zapovednika [Phyto-diversity in the Polesie landscapes of the Kerzhensky reserve]. *Materialy VIII Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Lesnye pochvy i funktsionirovanie lesnykh ekosistem»*, Moskva, 24-27 sentyabrya 2019. [Materialy VIII Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem "Lesnye pochvy i funktsionirovanie lesnykh ekosistem", Moscow, 24-27 sentyabrya 2019]. Moscow, 2019, pp. 143-146. (In Russian)
6. Yashin I.M., Kuznetsov P.V., Petukhova A.A. Ecogeochemical assessment of soils and forest park facies of Petrozavodsk. *Izvestiya TSKhA* [Proceedings of the Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev]. 2011, no. 4, pp. 30-43. (In Russian)
7. Mokma D., Yli-Halla M., Lindqvist K. Podzol formation in sandy soils of Finland. *Geoderma*, 2004, vol. 120, pp. 259-272. Available at:

Committee for Standardization and Metrology of the USSR Publ., 1993, 6 p. (In Russian)

20. *GOST 26483-85 Pochvy. Prigotovlenie solevoy vytyazhki i opredelenie ee pH po metodu TsINAO* [GOST 26483-85. Soils. Preparations of salt extract and determination of its pH by CINAQ method]. Moscow, USSR State Committee for Standards Publ., 1985, 4 p. (In Russian)

21. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu shchelochnogidrolizuемого азота в почве по методу Kornfilda* [Guidelines for the determination of alkaline hydrolysable nitrogen in soil according to the Kornfield method]. Moscow, Central Institute of Agrochemical Services for Agriculture of the Ministry of Agriculture of the USSR (CINAQ) Publ., 1985, 8 p. (In Russian)

22. *GOST 26204-91 Pochvy. Opredelenie podvizhnykh soedinenii fosforа i kaliya po metodu Chirikova v modifikatsii*

TsINAO [GOST (State Standard) 26204-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Chiricov method modified by CINAQ]. Moscow, Committee for Standardization and Metrology of the USSR Publ., 1993, 6 p. (In Russian)

23. *RD 52.18.289-90 Metodicheskie ukazaniya. Metodika vypolneniya izmerenii massovoi doli podvizhnykh form metallov (medi, svintsa, tsinka, nikelya, kadmiya, kobal'ta, khroma, margantsa) v probakh pochvy atomno-absorbtsionnym analizom* [RD 52.18.289-90 Guidelines. Method for measuring the mass fraction of mobile forms of metals (copper, lead, zinc, nickel, cadmium, cobalt, chromium, manganese) in soil samples by atomic absorption analysis]. Moscow, USSR State Committee for Hydrometeorology Publ., 1990, 36 p. (In Russian)

КРИТЕРИИ АВТОРСТВА

Николай П. Неведров, Мария Ю. Фомина, Галина И. Попова провели почвенную съемку и осуществили диагностику почв, отбор проб и их лабораторный анализ. Елена П. Проценко и Ирина П. Балабина участвовали в процессе подбора методов и объектов исследования, а также в анализе результатов. Николай П. Неведров составил план исследования, проанализировал полученные данные и написал рукопись. Все авторы в равной степени несут ответственность при обнаружении плагиата, самоплагиата или других неэтических проблем.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Nikolay P. Nevedrov, Maria Yu. Fomina and Galina I. Popova conducted soil survey and carried out soil diagnostics, sampling and laboratory analysis. Elena P. Protsenko and Irina P. Balabina participated in the selection of methods and research objects, as well as in the analysis of the results. Nikolai P. Nevedrov drew up the research plan, analysed the data obtained and wrote the manuscript. All authors are equally responsible for plagiarism, self-plagiarism and other ethical transgressions.

NO CONFLICT OF INTEREST DECLARATION

The authors declare no conflict of interest.

ORCID

Николай П. Неведров / Nikolay P. Nevedrov <https://orcid.org/0000-0003-1121-0671>
Елена П. Проценко / Elena P. Protsenko <https://orcid.org/0000-0002-9207-1548>
Ирина П. Балабина / Irina P. Balabina <https://orcid.org/0000-0002-4771-2983>
Мария Ю. Фомина / Maria Yu. Fomina <https://orcid.org/0000-0002-4810-2204>
Галина И. Попова / Galina I. Popova <https://orcid.org/0000-0002-7075-7928>