
БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 631.42:551.345(571.56-25)

М. В. Оконешикова, А. З. Иванова

Почвы и техногенные поверхностные образования одной из промышленных баз города Якутска

ИБПК СО РАН, г. Якутск, Россия

Аннотация. Городские почвы, сформированные в пределах криолитозоны – это особый объект экологического мониторинга в урбозкосистемах. Цель данной работы – изучить почвы и техногенные поверхностные образования (ТПО) на территории одной из промышленных баз в черте г. Якутска. Объекты исследования – урбаноземы и экраноземы солонцеватые (Cryic Urbic Technosol (Sodic) and Ekranic Technosol (Sodic)), а также литостраты – техногенные поверхностные образования (ТПО), развитые на северо-западной части г. Якутска в пределах второй надпойменной террасы р. Лены (62°02'N, 129°39'E). Определены их основные морфологические признаки и свойства на территории одной из промышленных баз в черте города. Установлено, что своеобразием их морфологического строения является наличие в профиле (в пределах метровой толщи) серии плотных песчаных антропогенных горизонтов с различным содержанием включений строительной гальки и в нижней части погребенных минеральных горизонтов естественной мерзлотной лугово-черноземной солонцеватой почвы. Результаты исследований показали, что для изученных почв характерны щелочная реакция среды, повышенное содержание поглощенного натрия, неравномерное распределение основных физико-химических и химических показателей по профилю, преимущественно легкий

ОКОНЕШНИКОВА Матрена Васильевна – к. биол. н., с. н. с. лаборатории экосистемных исследований холодных регионов Института биологических проблем криолитозоны СО РАН.

E-mail: mvok@yandex.ru

OKONESHNIKOVA Matrena Vasilyevna – Candidate of Science (Biol.), Senior Researcher, Laboratory of Ecosystem Investigations of Cold Regions, Institute for Biological Problems of Criolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Science.

ИВАНОВА Александра Зуевна – м. н. с. лаборатории экосистемных исследований холодных регионов Института биологических проблем криолитозоны СО РАН.

E-mail: madalexia@mail.ru

IVANOVA Alexandra Zuevna – Junior Researcher, Laboratory of Ecosystem Investigations of Cold Regions, Institute for Biological Problems of Criolithozone, Siberian Branch of the Russian Academy of Science.

гранулометрический состав верхних слоев и глинистый – погребенных природных горизонтов. Морфогенетические свойства антропогенных слоев в большей степени определяются составом привнесенного материала и характером их покрытия, но при этом не исключается влияние естественных факторов и процессов почвообразования, таких как гумусообразование, окарбоначивание, засоление, осолонцевание и частично криотурбация. Отмечено относительно высокое содержание подвижных форм Cu, Zn, Pb и Cd в поверхностных горизонтах, что связано с антропогенным воздействием.

Ключевые слова: криолитозона, городские почвы, промышленная база, урбаноземы, экраноземы, техногенные поверхностные образования, горизонты, свойства, почвенный процесс, загрязнение.

Статья подготовлена в рамках выполнения проекта СО РАН по теме 0376-2019-0006; регистрационный номер АААА-А19-119040990002-1.

DOI

M. V. Okoneshnikova, A. Z. Ivanova

Soils and technogenic surface formations of an industrial base of Yakutsk city

Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Yakutsk, Russia

Abstract. The urban soils formed within a cryolithozone are the special objects of environmental monitoring of urban ecosystems. The purpose of this work is to study the soils and ground technogenic surface formations (TSF) in the territory of industrial bases within Yakutsk city. The objects of study are the urbanozems alkalic (Cryic Urbic Technosol (Sodic)), the ekranozems alkalic (Cryic Ekranic Technosol (Sodic)), and TSF, developed on the northwestern part of Yakutsk within the second floodplain terrace of the Lena river (62°02'N, 129°39'E). The main morphological features and properties of these soils were determined on the territory of one of the industrial bases within the city. It has been established that the peculiarity of their morphological structure is the presence in the profile (within one meter) of a series of dense sandy anthropogenic horizons with different contents of inclusions of building pebbles and in the lower part of buried mineral horizons of natural permafrost meadow chernozemic solonetzic soil. The results of this study showed that these soils are characterized by an alkaline reaction, an increased content of absorbed sodium, an uneven distribution of the main physicochemical and chemical parameters along the profile, mainly a light granulometric composition of the upper layers and clayey buried natural horizons. The morphogenetic properties of anthropogenic layers are largely determined by the composition of the introduced material and their coating character, but at the same time, the influence of natural factors and soil formation processes, such as humus formation, carbonizing, salinization, alkalization, and partially cryoturbation, are not excluded. A relatively high content of mobile forms of Cu, Zn, Pb and Cd in surface horizons was noted, which is associated with anthropogenic impact.

Keywords: cryolithozone, urban soil, industrial base, urbanozems, ekranozemy, technogenic surface formations, horizons, properties, soil process, pollution.

Введение

Общеизвестно, что интенсивная деятельность человека в пределах городов приводит к существенному и часто необратимому изменению окружающей природной среды. Претерпевают изменения рельеф и гидрографическая сеть, естественная растительность сменяется созданными человеком фитоценозами. Формируется специфический тип городского микроклимата, за счет увеличения площадей застройки и искусственных покрытий уничтожается или сильно изменяется почвенный покров. На основе многолетнего опыта изучения почв городов разработана концепция формирования городских почв и специфика городского почвообразования, его отличия от почв внегородских территорий применительно к различным регионам мира [1-4].

К настоящему времени отечественными и зарубежными исследователями в основном затрагивается вопрос функционирования мерзлотных ландшафтов, реже почв, в условиях северных городов [5-8]. Замедленные процессы почвообразования, характерный водный режим, присутствие в профиле геохимического барьера в виде многолетней мерзлоты и другие особенности определяют специфику функционирования почв и почвоподобных тел г. Якутска. Почвы г. Якутска изучены недостаточно, т. к. до конца XX в. работы по данной тематике практически отсутствовали. Только в начале XXI в. начались специальные исследования собственно городских почв. В последние годы установлены основные факторы формирования почвогрунтов г. Якутска и выявлены геохимические особенности их загрязнения [9-11].

В настоящий момент в условиях закономерного увеличения площади и разнообразия городских почв имеется единственный материал, отражающий особенности строения и свойств урбаноземов г. Якутска [12]. В статье Прокофьевой и др. [13] при обсуждении диагностики почв и почвоподобных образований разных городов в системе классификации почв России 2004, 2008 гг. (КПР) в почвах северных городов предусматривается возможность выделения собственно городских почв при мощности горизонта урбик (UR) 30 см, а не 40 см, как это общепринято. Кроме того, для наиболее полного отражения специфики формирования генетического профиля городских почв и техногенных грунтов предлагается использовать сочетание «природных», выделенных в КПР (например, для Якутска \perp – мерзлота, или @ – криотурбации), и собственно «городских» квалификаторов.

Цель данной работы – изучить почвы и техногенные поверхностные образования (ТПО) на территории одной из промышленных баз в черте г. Якутска.

Материалы и методики исследования

Город Якутск и его окрестности расположены в местности Туймаада, которая представляет собой широкий впадинообразный участок речной долины на левом коренном берегу среднего течения р. Лены (площадь местности – 700 км²). В долине Туймаада выделяются пойма и две надпойменные террасы, поверхность которых испещрена протоками и старичными озерами. Надпойменные террасы высотой 10-12 м имеют в основном слабоволнистый рельеф, относительные колебания высот не превышают 2,0-2,5 м.

На формирование рельефа большое влияние оказывает многолетняя мерзлота, мощность которой колеблется от 180 до 400 м. Залегая на небольшой глубине, она находится в тесной связи с почвенно-климатическими условиями. В среднем глубина сезонного оттаивания составляет 1,1-1,5 м, на песчаных почвах склонов южной экспозиции может доходить до 3 м.

Климат резко континентальный, семиаридный: среднемесячная температура июля +18,5°, января -44,5°, годовое количество осадков составляет 200-220 мм.

Исследования урбаноземов и ТПО проведены на территории промышленной базы алмазодобывающей компании площадью 21 тыс. кв. м, расположенной на

северо-западной части г. Якутска в пределах второй надпойменной террасы р. Лены (62°02'N, 129°39'E). Поверхность участка искусственно выположена (не имеет естественной системы понижений-повышений, обуславливающих элементное перераспределение и изменение почвенных условий в рамках мезо- и микрорельефа), частично асфальтирована и застроена (на территории много зданий и других сооружений, занимающих около 30% площади). Встречаются локальные участки рудеральной растительности, находящейся на стадии выраженной дигрессии (15%). Они представлены неассоциированными редкотравными группировками, в видовом составе которых преобладают ячмень гривастый (*Hordeum jubatum* L.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), бескильница Гаупта (*Puccinelliaauptiana* V. Krecz.), подорожник средний (*Plantago media* L.), спорыш птичий (*Polygonum aviculare* L.), одуванчик рогоносный (*Taraxacum ceratophorum* (Ledeb.) DC) и пр.

Согласно методике изучения городских почв [14] для описания и изучения профиля разрезов принята стандартная глубина исследования – 1 м. Название почвам и ТПО дано согласно Прокофьевой с соавт., основанной на генетических признаках строения профиля [13]. Аналитические показатели урбаноземов и ТПО определялись общепринятыми методами [15]: pH водный – потенциметрически на pH-метре Level 1 «WTW» (Germany), органический углерод – по Тюрину, обменные Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ и K⁺ вытеснялись реактивом Пфеффера, гранулометрический состав – по Качинскому. Содержание подвижных форм тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu, Cd) определялось вытеснением ацетатно-аммонийным буферным раствором (pH 4,8) с последующим определением на атомно-адсорбционном спектрометре AAnalyst 400 «PerkinElmer» (США). Статистический анализ заключался в сопоставлении содержания тяжелых металлов (ТМ) с основными аналитическими показателями в профиле с помощью расчета коэффициента корреляции, который определяет силу и направленность связи между двумя рядами переменных. Коэффициент корреляции рассчитан методом Пирсона с помощью программы MS Excel.

Результаты и их обсуждение

На изученной территории распространены урбаноземы, экраноземы и ТПО с мощностью привнесенного материала 50-70 см (рис.).

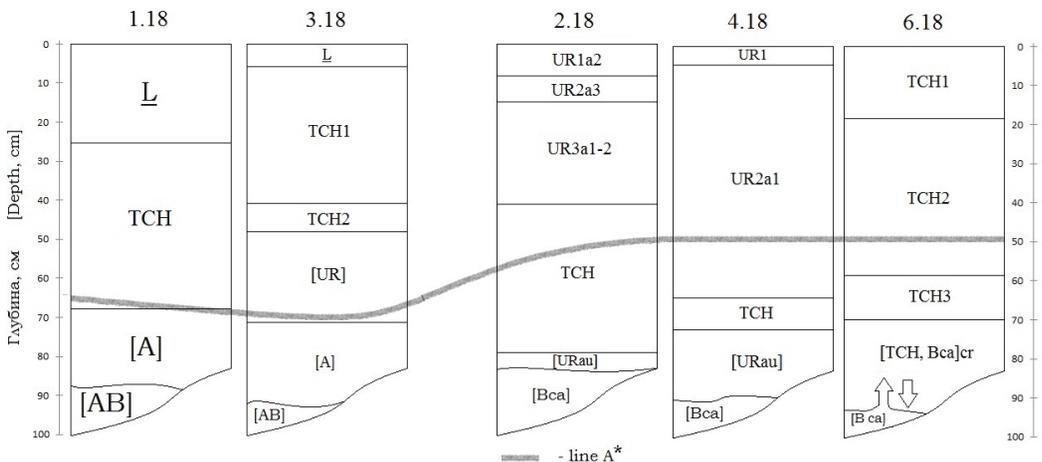


Рис. Схема морфологического строения запечатанных (разрезы 1.18, 3.18) и открытых (разрезы 2.18, 4.18 и 6.18) почв и ТПО промышленной базы г. Якутска

Примечание. * line A – условная поверхность фоновой почвы

Морфологический профиль урбаноземов техногенных солонцеватых (согласно WRB [16] – Urbic Technosol (Sodic)) состоит из серии плотных песчаных урбиковых горизонтов с различным содержанием в верхней части включений строительной гальки, обозначенных дополнительным индексом «а», и техногенного слоя. В нижней части разрезов (на глубине около 70-90 см) залегают погребенный темногумусовый урбиковый горизонт и иллювиально-карбонатный горизонт естественной (фоновой) мерзлотной лугово-черноземной почвы.

Разр. 2.18 (Urbic Technosol (Sodic)) заложен на фрагменте антропогенно-нарушенного луга с участием злаковых и рудеральных видов, часто прерывающегося бетонными дорожками и насыпями (62°02'58"N, 129°39'23"E). Почва вскипает от HCl (10%) только в нижней части (с глубины 83 см).

Поверхностный гор. UR1a2 (0-8 см) охристо-серый, очень плотный, песчаный, включения мелкой окатанной гальки составляют около 25% от общей массы горизонта, встречаются единичные корни травянистой растительности.

Под ним залегает гор. UR2a3 (8-15 см) серой окраски, отличающийся от вышележащего горизонта большим количеством гальки (до 50%).

Гор. UR3a1-2 (15-41 см) имеет охристый оттенок и меньшее количество включений дресвы и гальки (< 25%), преимущественно песчаный, но встречаются отдельные фрагменты слабоструктуренного комковато-плитчатого глинистого грунта.

Срединный гор. TCH (41-79 см) заметно отличается от предыдущих отсутствием включений гальки. Он однородно серый, песчаный, не имеет признаков почвообразования.

Гор. [URau] (79-83 см) представляет собой супесчано-гумусированную уплотненную массу темно-буровато-серой окраски с редкими растительными корнями. Сочетание признаков урбопедогенеза и дернового почвообразования позволяет предполагать, что данный урбиковый горизонт ранее перед погребением находился на поверхности достаточное количество времени для формирования признаков гумусово-аккумулятивного горизонта в толще материала урбикового горизонта.

На глубине 83-100 см отмечается резкий переход гранулометрического состава на суглинисто-глинистый, окраска буровато-серая с охристыми пятнами, материал очень плотный, глыбистый, бурно вскипает от HCl (карбонатная пропитка). По совокупности морфологических признаков данный слой является погребенным горизонтом природной [Bca] мерзлотной лугово-черноземной почвы.

Второй разрез урбанозема техногенного солонцеватого (разр. 4.18, Urbic Technosol (Sodic)), вскрытого на практически лишенном растительности участке между административными постройками (62°02'59"N, 129°39'23"E), отличается от предыдущей почвы наличием бурно вскипающего от HCl поверхностного гор. UR1ca (0-4 см) серой окраски с мелкими охристыми пятнами, супесчаного гранулометрического состава, без включений гальки.

Мощный в профиле гор. UR2a1 (4-62 см) светло-бурый, песчаный, бесструктурный, встречаются редкие корни трав и отдельные включения гальки.

Гор. TCH (63-73 см) отличается от вышележащего горизонта белесовато-серой окраской однородного песчаного материала без включений.

Нижележащие горизонты [URau] (73-90 см) и [Bca] (90-100 см) по морфологическим признакам аналогичны соответствующим горизонтам предыдущего разр. 2.18.

Гранулометрический состав верхних урбиковых горизонтов слоистый песчано-супесчаный (разр. 2.18) и песчаный (разр. 4.18), нижних погребенных горизонтов – глинистый с преобладанием фракций крупной пыли (32-34%) и ила (17-23%). Профильное распределение органического углерода в разрезах разное: нарастающее к низу от очень низких до высоких значений в разр. 2.18, бимодальное в разр. 4.18. Реакция среды щелочная и сильнощелочная, доля обменного натрия в составе обменных катионов

колеблется от 7 до 18% (табл. 1). Высокая щелочность в урбиковых горизонтах (рН водной вытяжки 8,5-9,2) связана, во-первых, с аккумуляцией солей в поверхностных слоях мерзлотных почв с криогенно-выпотным водным режимом в условиях семиаридного климата Центральной Якутии, во-вторых, не исключаются процессы антропогенного ошелачивания, отмеченные в почвах городов европейской части России [17, 18]. При этом следует отметить, что высокое содержание собственно обменных катионов отмечается в поверхностном слое почвы с фрагментарной растительностью (разр. 2.18), тогда как в урбаноземе с почти полностью отсутствующим растительным покрытием (разр. 4.18) наблюдается низкое значение этого показателя в верхнем слое. Вероятно, это связано с присутствием карбонатов в верхнем горизонте разр. 4.18.

На участке грунтовой дороги с остатками асфальта без растительного покрова (разр. 6.18, 62°03'00"N, 129°39'30"E) описан профиль техногенного поверхностного образования с признаками криотурбации, соответствующего подгруппе ТПО – литостратам. Верхняя часть профиля состоит из серии нанесенных для прокладки дорожного покрытия техногенных слоев, представленных песчаным грунтом, не вскипающим от HCl.

ТСН1 (0-18 см) светло-серый мелкозернисто-песчаный, уплотнен.

ТСН2 (18-58 см) охристый с буровато-серыми пятнами сцементированный разнозернисто-песчаный.

ТСН3 (58-70 см) серый, среднезернисто-песчаный.

В нижней части профиля, на глубине (70-95) см, в гор. [ТСН,Вса]@ обнаружены характерные для большинства мерзлотных почв [19, 20] признаки криотурбации почвенного материала в виде неоднородной окраски, на сером фоне видны охристо-бурые вихревые прослойки, легкосуглинистый, слабо выражена мелкокомковатая структура, бурно вскипает от HCl. Корней растений и включений не обнаружено.

Карбонатный гор. [Вса] (95-100 см) имеет сходное строение с аналогичными горизонтами вышеописанных разрезов. Он буровато-серый, комковатый, глинистый, бурно вскипает от HCl, включений нет.

Гранулометрический состав техногенных слоев песчаный, погребенных горизонтов – глинистый с преобладанием фракций крупной пыли (34%). Профильное распределение органического углерода относительно равномерное. Реакция среды щелочная и сильнощелочная с увеличением вниз по профилю, доля обменного натрия в составе обменных катионов колеблется от 4 до 15% (табл. 1), при этом максимальное накопление этого катиона наблюдается в криотурбированном слое на границе техногенного наноса и природной почвы. Вероятно, тяжелый по гранулометрическому составу природный горизонт намного медленнее оттаивает и образует некий барьер, который способствует накоплению катионов в вышележащем над ним слое, что характерно и для разр. 2.18 и 4.18.

Кроме открытых урбаноземов и литостратов на изученной территории встречаются также запечатанные под асфальтобетонными покрытиями грунты и почвы.

Профиль запечатанного литострата, вскрытого на бетонированной площадке перед административным зданием (разр. 1.18, 62°02'57"N, 129°39'19,0"E), представляет собой экранированное ТПО с погребенными под техногенным наносом дерново-гумусовым [А] и переходным [АВ] горизонтами мощностью до 35 см, которые по совокупности признаков являются верхними органо-минеральными горизонтами фоновой мерзлотной лугово-черноземной почвы. Не вскипает от HCl на всю глубину.

Под асфальтобетонным покрытием L (0-25 см) залегает мощный наносной слой ТСН (25-68см) однородной серой окраски, мелкозернистого песчаного гранулометрического состава с единичными включениями гальки.

Ниже вскрывается погребенный гумусовый гор. [А] (68-88 см) темно-бурый, пронизан

множеством мелких корней трав, структура комковатая, гранулометрический состав суглинистый.

Гор. [AB] (88-100 см) неравномерно окрашен, на темно-буром фоне имеются серые пятна и косые полосы, отмечается среднее количество корней, уплотнен, гранулометрический состав глинистый.

Профиль другого запечатанного разреза (разр. 3.18), изученного под стоянкой ГСМ (62°02'58"N, 129°39'19,0"E), по сравнению с предыдущей почвой имеет более неоднородное строение. Мощность асфальтобетонного покрытия составляет 5 см, мощность антропогенных слоев около 70 см. Мелкозем бурно вскипает от HCl с глубины 93 см.

Верхний гор. TCH1 (5-40 см) аналогичен гор. TCH предыдущего разреза.

Гор. TCH2 (40-48 см) имеет небольшую мощность, светло-буровато-серый, уплотненный, песчаный, без включений.

Срединный горизонт (48-72 см) неоднородный по окраске и гранулометрическому составу, серый с светло-серыми и охристыми пятнами, преимущественно суглинистый, местами присутствуют фрагменты песчаных прослоек, бесструктурный, уплотненный, диагностируется как погребенный урбиковый горизонт [UR].

Ниже следуют гумусовый горизонт [A] (72-93 см), аналогичный гор. [A] из предыдущего разреза, и гор. [ABca] (93-100 см), темно-серый с буроватым оттенком, пронизанный корнями травянистых растений, листовато-комковатый, глинистый, бурно вскипающий от HCl.

Наличие в профиле техногенных и урбикового горизонтов характеризует этот разрез как экранозем солонцеватый (Ekranic Urbic Technosol (Sodic)).

Таблица 1

Аналитическая характеристика изученных профилей

Горизонт	Глубина, см	pH (H ₂ O)	Сорг, %	Обменные катионы, смоль/кг			Na от суммы обм. катионов, %	Содержание частиц %	
				Ca ²⁺ + Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		< 0,001	< 0,01
Урбанозем техногенный солонцеватый, разр. 2.18									
UR1a2	0-8	8,5	0,4	17,6	1,1	0,4	6	4,9	9,1
UR2a3	8-15	8,5	0,4	8,2	0,9	0,5	9	3,8	9,5
UR3a1-2	15-41	8,4	0,3	3,7	0,7	0,4	15	5,3	11,4
TCH	41-79	8,5	0,2	2,3	0,6	0,4	18	2,1	3,1
[URau]	79-83	8,0	3,7	18,2	2,5	1,2	11	4,4	10,0
[Bca]	83-100	7,5	1,8	8,4	0,7	0,4	7	17,2	42,4
Урбанозем техногенный солонцеватый, разр. 4.18									
UR1ca	0-4	9,2	1,0	6,3	0,5	0,1	7	3,2	10,0
UR2a1	4-62	7,9	2,2	12,1	1,0	0,5	7	3,4	8,2
TCH	63-73	9,2	0,4	5,2	1,1	0,9	15	4,2	7,8
[URau]	73-90	8,6	3,9	17,4	2,8	0,8	13	4,6	9,3
[Bca]	90-100	9,0	0,7	11,7	1,3	0,3	10	22,8	52,0
Литострат криотурбированный (ТПО), разр. 6.18									
TCH1	0-18	8,5	0,4	16,4	1,6	0,1	9	2,5	4,7
TCH2	18-58	8,4	0,2	3,2	0,3	0,1	8	3,9	9,9
TCH3	58-70	9,1	0,2	2,4	0,1	0,1	4	7,4	4,6

[TCH,Bca]@	70-95	9,3	0,4	14,1	2,6	0,2	15	5,4	18,4
[Bca]	95-100	9,5	0,4	11,8	1,1	0,1	8	3,7	47,6
Запечатанный литострат (ТПО), разр. 1.18									
TCH	25-40	9,4	0,2	6,8	1,1	1	12	3,1	4,3
	40-68	9,7	0,1	2,7	0,7	0,4	18	2,7	3,3
[A]	68-88	7,8	3,1	12,1	2,8	1,3	17	12,0	35,6
[AB]	88-100	7,3	2,3	9,1	1,0	0,6	9	27,6	50,4
Экранозем солонцеватый, разр. 3.18									
TCH1	5-40	9,4	0,2	3,7	0,8	0,4	16	3,5	6,3
TCH2	40-48	9,6	0,1	1,9	0,1	0,1	5	0,9	3,3
[UR]	48-72	8,3	0,6	14,1	2,4	0,9	14	13,6	33,6
[A]	72-93	7,4	4,7	17,4	2,6	0,6	13	14,0	38,8
[ABca]	93-100	8,5	1,5	10,3	1,5	0,2	13	17,9	47,9

В целом исследование запечатанных грунтов и почв показало, что спецификой строения их профиля является сохранность в пределах метровой толщи более мощных минеральных природных горизонтов (на глубине 68-100 см), тогда как в открытых урбаноземах и литострате фрагмент природного горизонта обнаруживается лишь на глубине 83-100 см. Разная степень сохранности погребенных естественных горизонтов связана с исходным полого-увалистым мезорельефом местности. Профили естественных почв, расположенные на повышенных элементах мезорельефа, при искусственном выравнивании нарушаются глубже, чем на нижележащих элементах (рис.).

Запечатанные и незапечатанные почвы и ТПО имеют сходный гранулометрический состав, некоторые отличия выявлены в химических показателях. Так, их антропогенные горизонты содержат меньшее количество Сорг (0,1-0,6%), чем, например, собственно урбаноземы (0,2-3,9%). Кроме того, они более щелочные (рН водной вытяжки 9,4-9,7 против 8,0-9,2). Снижение содержания углерода и повышение ощелачивания в запечатанных почвах и ТПО связаны с отсутствием процессов гумусоаккумуляции и увеличением засоления верхних горизонтов при передвижении почвенного раствора вверх по профилю (практически отсутствием нисходящего внутрипочвенного стока) в результате запечатывания профиля асфальтобетонным покрытием (табл. 1).

Итак, по морфологическим свойствам и данным почвенных анализов во всех изученных разрезах залегают погребенные горизонты [A], [AB] и (или) [Bca] природной мерзлотной лугово-черноземной почвы.

Мерзлотные лугово-черноземные солонцеватые почвы (Cryic Protocalcic Chernozem (Sodic)) широко распространены на надпойменных террасах долины Туймаада в комплексе с черноземами на увалах и ниже расположенными черноземно-луговыми почвами лощин или солончаками. Ранее установлено, что практически все мерзлотные лугово-черноземные и черноземно-луговые почвы долины р. Лены солончаковато-солонцеватые [21, 22]. Причиной широкого проявления процессов засоления в почвах надпойменных террас являются недостаток влаги, слабое развитие или отсутствие процессов нисходящего и бокового внутрипочвенного стока, активная трансформация восходящих растворов вверх по почвенному профилю.

Согласно «Классификации и диагностике мерзлотных почв Якутии» [19] и данным ранее проведенных исследований естественной лугово-черноземной солонцеватой почвы на территории Чочур-Муранской опытно-биологической станции [21], расположенной на второй надпойменной террасе в 7 км к северо-западу от г. Якутска на схожих с нашими объектами отложениях, морфологический профиль мерзлотных лугово-черноземных почв диагностируется сочетанием гумусового гор. А мощностью 15-25 см, переходного гор. АВ мощностью 20-30 см, иллювиально-карбонатного суглинистого гор. Вса мощностью около 25 см. Ниже следует гор. С – материнская порода, лессовидный

суглинок. По гранулометрическому составу суглинки неоднородны. В них встречаются прослойки песков и супесей, галька и дресва, кварц-полевошпатовые породы и известняки. Ниже суглинки сменяются песками и супесями. Как правило, лессовидные суглинки насыщены карбонатами кальция и магния, легкорастворимыми солями, иногда прослойками гипса, тогда как песчаные породы обычно не содержат карбонатов и в них содержание солей незначительно. Обычно почвы оттаивают на глубину 1,5-1,8 м.

Анализ содержания подвижных форм тяжелых металлов (далее ТМ) показал (табл. 2), что относительно молодые городские почвы характеризуются превышением предельно допустимых концентраций (ПДК) лишь по Cu (2,2ПДК). При этом, по литературным данным, в фоновых почвах меди накапливается больше, чем в нашем случае, что, видимо, связано с методом определения подвижных форм ТМ. Извлечение ацетатно-аммонийным буфером дает представление о наиболее мобильном запасе элементов, в то время как кислотное вытеснение, которое обычно используют, приводит к получению повышенных показателей из-за разрушения прочно сорбированных соединений. Медь же в карбонатной среде, характерной для почв Центральной Якутии, довольно активно связывается в прочные соединения, растворимые лишь в более агрессивной среде [23]. Профильное распределение для меди довольно неравномерное: её накопление носит как естественный, судя по фоновому содержанию, так и антропогенный характер – геохимические исследования В. Н. Макарова [24] показали, что содержание меди в пылевой фазе снежного покрова в селитебных зонах долины Туймаада превышает экологическую норму.

Для кадмия не существует общепринятых ПДК, но резкое единичное или двукратное превышение на фоне преимущественно низкого содержания наблюдается во всех исследованных урбаноземах. В некоторых случаях играет роль накопление в естественных почвах (нижние горизонты в разр. 3.17, 4.17), в других случаях – состав насыпного материала (горизонт U4 в разр. 2.17) или поверхностное загрязнение (горизонт U1ca в разр. 4.17). К тому же на такую профильную неравномерность влияет относительно высокая подвижность кадмия [25], а также возможная зависимость накопления от плотности горизонтов [26].

Распределение свинца по профилю коррелирует с содержанием кадмия, что вполне логично, т. к. эти ТМ имеют схожий механизм поглощения в почвенно-поглощающем комплексе (ППК) [27, 28]. Максимальное накопление отмечается на поверхности разр. 4.18, при этом его также относительно много в урбиковых горизонтах разр. 2.18, который вскрыт под антропогенным лугом, что говорит об активном влиянии растительности на аккумуляцию свинца.

Содержание цинка варьирует в пределах 0,5-1,6 мг/кг, при этом распределение в профиле урбаноземов (разр. 2.18 и 4.18) имеет два основных пика накопления – на поверхности и в нижней части разреза. Высокие значения в верхнем горизонте носят антропогенный характер, а в нижней части повышение говорит о высоком содержании металла в фоновой почве. Но при сравнении с региональным фоном цинка накапливается больше, поэтому, возможно, на дополнительное накопление металлов в нижнем слое влияют несколько факторов, в совокупности приводящих к созданию условного геохимического барьера: во-первых, это резко утяжеляющийся гранулометрический состав погребенных горизонтов на фоне песчаных и супесчаных урбиковых; во-вторых, это более позднее оттаивание суглинистого грунта, что обуславливает накопление не только тяжелых металлов, но и органического вещества на поверхности мерзлой толщи. В экраноземе (разр. 3.18) распределение цинка более равномерное с очень слабовыраженным пиком (по сравнению с открытыми почвами) в верхнем слое, что связано с запечатыванием почвы, вследствие которого поступление цинка на поверхность прекратилось.

Таблица 2

Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве

Номер разреза	Горизонт	Глубина, см	Pb	Zn	Cu	Cd
			мг/кг			
Урбанозем техногенный солонцеватый						
2.18	UR1a2	0-8	1,89	<u>12,8</u>	<u>2,40</u>	0,02
	UR2a3	8-15	<u>2,13</u>	2,74	0,88	0,10
	UR3a1-2	15-41	0,58	1,24	<u>2,04</u>	<0,001
	TCH	41-79	<u>2,45</u>	1,63	1,26	<u>0,28</u>
	[URau]	79-83	0,13	0,54	0,90	<0,001
	[Bca]	83-100	0,46	<u>9,54</u>	4,36	<0,001
4.18	UR1ca	0-4	<u>4,04</u>	<u>21,6</u>	4,28	<u>0,46</u>
	UR2a1	4-62	<0,001	5,34	0,94	<0,001
	TCH	63-73	<0,001	1,85	0,90	<0,001
	[URau]	73-90	<0,001	0,73	1,00	<0,001
	[Bca]	90-100	1,75	6,97	1,84	<u>0,48</u>
Экранозем солонцеватый						
3.18	TCH1	5-40	0,04	4,43	6,58	<0,001
	TCH2	40-48	0,80	2,29	1,34	<0,001
	[UR]	48-72	0,20	3,78	4,36	0,14
	[A]	72-93	1,16	2,80	0,98	<0,001
	[ABca]	93-100	<u>2,72</u>	3,01	<u>2,14</u>	<u>0,46</u>
Среднее содержание в зональных почвах Центральной Якутии, мг/кг [29]			–	0,2-5,0	3,0-7,0	–
Региональный фон, мг/кг [30]			3,4	5,9	9,4	–
ПДК, мг/кг			6,0	23,0	3,0	–

При попытке корреляции содержания ТМ с такими показателями, как реакция среды, содержание органического углерода и физической глины, наблюдается отсутствие прямых зависимостей, что является вполне предсказуемым результатом для относительно молодых городских почв. Учитывая, что в профиле исследуемых почв имеются горизонты фоновой почвы, мы предположили, что целесообразнее оценить степень корреляции отдельно для урбиковых и естественных горизонтов (табл. 3). Даже такой упрощенный подход выявил, что в антропогенных горизонтах содержание металлов слабо коррелирует с основными аналитическими показателями, что объясняется отсутствием или слабым проявлением направленных почвообразовательных процессов, систематически перераспределяющих ТМ по профилю в зависимости от состава и свойств почвенных слоев. В то же время в погребенных горизонтах фоновой почвы можно наблюдать некоторую коррелятивную активность: например, накопление кадмия и свинца зависит от всех трех показателей состояния почвы. Хотя для меди и цинка также отмечается низкая корреляционная зависимость, т. е. при распределении данных ТМ следует учитывать совокупность факторов и такие дополнительные условия, как антропогенное загрязнение, влияние многолетней мерзлоты и наличие асфальтобетонного покрытия.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции подвижных форм микроэлементов с содержанием общего углерода, физической глины и значениями pH в почве

	pH (H ₂ O)	C общий [Ctotal]	Содержание частиц < 0,01 [Sum of particles < 0,01]
Все горизонты			
Pb	-0,24	0,32	0,13
Zn	-0,02	0,27	-0,12
Cu	-0,34	0,26	0,14
Cd	-0,23	0,36	0,44
Антропогенные горизонты			
Pb	-0,33	0,38	-0,19
Zn	0,02	0,45	0,01
Cu	-0,35	0,44	0,33
Cd	-0,20	0,37	0,09
Погребенные горизонты фоновой почвы			
Pb	-0,34	0,70	0,60
Zn	0,01	-0,45	-0,49
Cu	-0,44	-0,23	-0,04
Cd	-0,72	0,97	0,93

В целом по суммарной оценке загрязнения все почвы исследуемого участка имеют допустимый уровень загрязнения, при этом относительно высокое содержание ТМ зафиксировано в верхнем урбиковом горизонте разр. 4.17, вскрытого рядом с административным зданием.

Сравнение полученных данных с ранее проведенными исследованиями антропогенных почв г. Якутска показало, что общим свойством урбаноземов являются сохранность в нижней части профиля минеральных горизонтов природных почв, щелочная реакция среды, неравномерное распределение основных физико-химических свойств по профилю и преимущественно легкий гранулометрический состав урбиковых горизонтов. Основное отличие заключается в типовой принадлежности исходных (фоновых) почв, сформированных на разных по уровню участках долины Туймаада – в пределах поймы и на первой надпойменной террасе мерзлотных аллювиальных и торфяно-глеевых [12] и изученных нами на второй надпойменной террасе мерзлотных лугово-черноземных почв.

Заключение

Обобщение материалов исследования антропогенных почв и ТПО промышленной базы г. Якутска, расположенной в пределах второй надпойменной террасы реки Лены, выявило, что особенности их строения и свойств определяются воздействием антропогенного фактора на естественные процессы почвообразования, характерные для мерзлотных лугово-черноземных почв Центральной Якутии (гумусообразование, окарбоначивание, засоление, осолонцевание и частично криотурбация).

Малая мощность антропогенного слоя (68-95 см) и относительно хорошая сохранность природных минеральных горизонтов свидетельствуют о меньшей продолжительности формирования изученных нами антропогенных почв на окраине города. В этой связи морфогенетические свойства урбиковых и техногенных горизонтов в большей степени

определяются составом привнесенного материала и характером их покрытия, но при этом не исключается влияние природных факторов и процессов почвообразования.

Антропогенные слои в изученных почвах предположительно изначально не были сильно загрязнены и характеризовались невысоким содержанием доступных форм ТМ. Со временем проявились признаки поверхностного загрязнения антропогенного характера, но даже в этом случае значения ПДК превышаются единично и ненамного. Вследствие относительной молодости исследованных почв коррелятивная связь между накоплением ТМ и свойствами грунта в верхних горизонтах практически не наблюдается, в то время как в фрагментах фоновой почвы прослеживается определенная коррелятивная зависимость для некоторых элементов.

Л и т е р а т у р а

1. Строганова М. Н., Мягкова А. Д., Прокофьева Т. В. Городские почвы: генезис, классификация, функции // Почва. Город. Экология / под ред. Добровольского Г. В. – М.: Фонд «За экологическую грамотность», 1997. – С. 15-85.
2. Строганова М. Н., Раппопорт А. В. Антропогенные почвы ботанических садов крупных городов южной тайги // Почвоведение. – 2005. – № 9. – С. 1094-1101.
3. Строганова М. Н., Мартыненко И. А., Прокофьева Т. В., Рахлеева А. А. Физико-химические и физико-механические свойства урбанизированных лесных почв // Лесные экосистемы и урбанизация / под ред. Лысина Л. П. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – С. 90-125.
4. Lehmann A., Stahr K. Nature and significance of anthropogenic urban soils // Journal of Soils & Sediments. – 2007. – Vol. 7 (4). – Pp. 247-260.
5. Константинов П. Я., Федоров А. Н., Угаров И. С., Аргунов Р. Н., Суздалов Д. А., Йижима Й. Результаты исследований межгодовой изменчивости глубины сезонного протаивания около Якутска // Криосфера Земли. – 2014. – Т. 18. – № 4. – С. 23-32.
6. Klene A. E., Nelson F. E., Hinkel K. M. Urban-rural contrasts in summer soil-surface temperature and active-layer thickness, Barrow, Alaska, USA // Polar Geography. – 2013. – Vol. 36 (3). – Pp. 183-201. doi: 10.1080/1088937X.2012.706756
7. Shiklomanov N. I., Streletskiy D. A., Grebenets V. I., Suter L. Conquering the permafrost: urban infrastructure development in Norilsk, Russia // Polar Geography. – 2017. – Vol. 40 (4). – Pp. 273-290. doi: 10.1080/1088937X.2017.1329237
8. Дымов А. А., Каверин Д. А., Габов Д. Н. Свойства почв и почвоподобных тел г. Воркута // Почвоведение. – 2013. – № 2. – С. 240-248. doi: 10.7868/S0032180X13020032
9. Легостаева Я. Б., Сивцева Н. Е., Дягилева А. Г., Ксенофонтова М. И., Томская Л. А., Ябловская П. Е. Эколого-геохимическая оценка состояния территорий наиболее крупных населенных пунктов Якутии // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 4. – С. 49-54.
10. Макаров В. Н. Эколого-геохимический мониторинг окружающей среды города Якутска // Наука и образование. – 2013. – № 3 (70). – С. 95-100.
11. Легостаева Я. Б., Сивцева Н. Е., Ксенофонтова М. И. Эколого-геохимическая специфика формирования урбозкосистем // Прикладные экологические проблемы г. Якутска: сборник научных трудов / под ред. Саввинова Г. Н. – Новосибирск: Наука, 2017. – С. 55-64.
12. Сивцева Н. Е. Экогеохимические особенности формирования урбаноземов в условиях криолитозоны (на примере г. Якутска): Дис. ... канд. биол. наук. – Якутск: СВФУ им. М.К. Аммосова, 2012. – 142 с.
13. Прокофьева Т. В., Герасимова М. И., Безуглова О. С., Бахматова К. А., Гольева А. А., Горбов С. Н., Жарикова Е. А., Матинян Н. Н., Наквасина Е. Н., Сивцева Н. Е. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. – 2014. – № 10. – С. 1155-1164. doi: 10.7868/S0032180X14100104
14. Прокофьева Т. В., Мартыненко И. А., Иванников Ф. А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. – 2011. – № 5. – С. 611-623.

15. Теория и практика химического анализа почв. Под ред. Воробьевой Л. А. – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.
16. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. [Electronic resource]. Available at: <http://www.fao.org/3/I3794EN/i3794en.pdf> (assessed 05.03.2019)
17. Александровский А. Л., Александровская Е. И., Долгих А. В., Замотаев И. В., Курбатова А. Н. Почвы и культурные слои древних городов юга Европейской России // Почвоведение. 2015. – № 11. – С. 1291-1301. doi: 10.7868/S0032180X15110027
18. Walker T. R., Young S. D., Crittenden P. D., Zhang P. Anthropogenic metal enrichment of snow and soil in northeastern European Russia // Environmental Pollution. – 2003. – Vol. 121. – Pp. 11-21.
19. Еловская Л. Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1987. – 172 с.
20. Desyatkin R. V., Goryachkin S. V., Konyushkov D. E., Krasilnikov P. V., Lebedeva M. P., Bronnikova M. A., Desyatkin A. R., Fedorov A. N., Khokhlov S. F., Lapteva E. M., Lupachev A. V., Mergelov N. S., Okoneshnikova M. V., Shishkov V. A., Turova I. V., Zazovskaya E. P. Cryosols in perspective: a view from the permafrost heartland. Guidebook-monograph for field excursions of the VII International Conference on Cryopedology. – Moscow-Yakutsk. – 2017. – 81 p.
21. Еловская Л. Г. Почвы Чочур-Муранской опытно-биологической станции // Науч. сообщ. АН СССР, Сиб. отд-ие, Якут. филиал, 1961. – Выпуск 5. Биология. – С. 3-11.
22. Оконешникова М. В. Современное состояние и прогноз изменений почв долины средней Лены (Центральная Якутия) // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. – № 3 (23). – С. 7-18.
23. Мажайский Ю. А., Тобратов С. А., Дубенок Н. Н., Пожогин Ю. П. Агроэкология техногенно-загрязненных ландшафтов. – Смоленск: Маджента, 2003. – 384 с.
24. Макаров В. Н. Прикладная геохимия Якутска // Прикладные экологические проблемы г. Якутска: сборник научных трудов / под ред. Саввинова Г. Н. – Новосибирск: Наука, 2017. – С. 46-54.
25. Jarvis S. C., Lohes L. H. P., Hopper M. J. Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots // Plant and Soil, 1976. – Vol. 44 (1). – Pp. 179-191.
26. Корчагина К. В., Смагин А. В., Решетина Т. В. Оценка техногенного загрязнения городских почв на основе профилного распределения тяжелых металлов и плотности сложения // Почвоведение. 2014. – № 8. – С. 988-997. doi: 10.7868/S0032180X14080085
27. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
28. Santillan-Nedrano J., Jurinak J.J. The chemistry of lead and cadmium in soil solid phase formation // Soil. Sci. Soc. Amer. Proc, 1975. – Vol. 39 (5). – Pp. 851-856.
29. Саввинов Д. Д. Сазонов Н. Н. Микроэлементы в северных экосистемах: на примере Республики Саха (Якутия). – Новосибирск: Наука, 2006. – 208 с.
30. Сивцева Н. Е., Легостаева Я. Б., Макаров В. С., Васильев Н. Ф. Экологическая оценка состояния территории г. Якутска по суммарному показателю загрязнения почвенного покрова // Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова. – 2011. – № 2. – С. 30-35.

References

1. Stroganova M. N., Myagkova A. D., Prokofeva T. V. Gorodskie pochvy: genezis, klassifikaciya, funkci // Pochva. Gorod. Ekologiya / pod red. Dobrovolskogo G. V. – М.: Fond «Za ekologicheskuyu gramotnost'», 1997. – S. 15-85.
2. Stroganova M. N., Rappoport A. V. Antropogennye pochvy botanicheskikh sadov krupnyh gorodov yuzhnoj tajgi // Pochvovedenie. – 2005. – № 9. – S. 1094-1101.
3. Stroganova M. N., Martynenko I. A., Prokofeva T. V., Rahleeva A. A. Fiziko-himicheskie i fiziko-mekhanicheskie svojstva urbanizirovannyh lesnyh pochv // Lesnye ekosistemy i urbanizaciya / pod red. Lysina L. P. – М.: Tovarishchestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2008. – S. 90-125.

4. Lehmann A., Stahr K. Nature and significance of anthropogenic urban soils // *Journal of Soils & Sediments*. – 2007. – Vol. 7 (4). – Pp. 247-260.
5. Konstantinov P. Ya., Fedorov A. N., Ugarov I. S., Argunov R. N., Suzdalov D. A., Jizhima J. Rezul'taty issledovaniy mezhgodovoj izmenchivosti glubiny sezonnogo protaivaniya okolo Yakutska // *Kriosfera Zemli*. – 2014. – T. 18. – № 4. – S. 23-32.
6. Klene A. E., Nelson F. E., Hinkel K. M. Urban–rural contrasts in summer soil-surface temperature and active-layer thickness, Barrow, Alaska, USA // *Polar Geography*. – 2013. – Vol. 36 (3). – Pp. 183-201. doi: 10.1080/1088937X.2012.706756
7. Shiklomanov N. I., Streletskiy D. A., Grebenets V. I., Suter L. Conquering the permafrost: urban infrastructure development in Norilsk, Russia // *Polar Geography*. – 2017. – Vol. 40 (4). – Pp. 273-290. doi: 10.1080/1088937X.2017.1329237
8. Dymov A. A., Kaverin D. A., Gabov D. N. Svoystva pochv i pochvopodobnyh tel g. Vorkuta // *Pochvovedenie*. – 2013. – № 2. – S. 240-248. doi: 10.7868/S0032180X13020032
9. Legostaeva Ya. B., Sivceva N. E., Dyagileva A. G., Ksenofontova M. I., Tomskaya L. A., Yablovskaya P. E. Ekologo-geohimicheskaya ocenka sostoyaniya territorij naibolee krupnyh naselennyh punktov Yakutii // *Problemy regional'noj ekologii*. – 2011. – № 4. – S. 49-54.
10. Makarov V. N. Ekologo-geohimicheskij monitoring okruzhayushchej sredy goroda Yakutska // *Nauka i obrazovanie*. – 2013. – № 3 (70). – S. 95-100.
11. Legostaeva Ya. B., Sivceva N. E., Ksenofontova M. I. Ekologo-geohimicheskaya specifika formirovaniya urboekosistem // *Prikladnye ekologicheskie problemy g. Yakutska: sbornik nauchnyh trudov / pod red. Savvinova G. N.* – Novosibirsk: Nauka, 2017. – S. 55-64.
12. Sivceva N. E. Ekogeohimicheskie osobennosti formirovaniya urbanozemov v usloviyah kriolitozony (na primere g. Yakutska): Dis. ... kand. biol. nauk. – Yakutsk: SVFU im. M.K. Ammosova, 2012. – 142 s.
13. Prokof'eva T. V., Gerasimova M. I., Bezuglova O. S., Bahmatova K. A., Gol'eva A. A., Gorbov S. N., Zharikova E. A., Matinyan N. N., Nakvasina E. N., Sivceva N. E. Vvedenie pochv i pochvopodobnyh obrazovaniy gorodskih territorij v klassifikaciyu pochv Rossii // *Pochvovedenie*. – 2014. – № 10. – S. 1155-1164. doi: 10.7868/S0032180X14100104
14. Prokof'eva T. V., Martynenko I. A., Ivannikov F. A. Sistematika pochv i pochvoobrazuyushchih porod Moskvy i vozmozhnost' ih vklucheniya v obshchuyu klassifikaciyu // *Pochvovedenie*. – 2011. – № 5. – S. 611-623.
15. Teoriya i praktika himicheskogo analiza pochv. Pod red. Vorob'evoy L. A. – M.: GEOS, 2006. – 400 s.
16. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. [Electronic resource]. Available at: <http://www.fao.org/3/I3794EN/i3794en.pdf> (assessed 05.03.2019)
17. Aleksandrovskij A. L., Aleksandrovskaya E. I., Dolgih A. V., Zamotaev I. V., Kurbatova A. N. Pochvy i kul'turnye sloi drevnih gorodov yuga Evropejskoj Rossii // *Pochvovedenie*. 2015. – № 11. – S. 1291-1301. doi: 10.7868/S0032180X15110027
18. Walker T. R., Young S. D., Crittenden P. D., Zhang R. Anthropogenic metal enrichment of snow and soil in northeastern European Russia // *Environmental Pollution*. – 2003. – Vol. 121. – Pp. 11-21.
19. Elovskaya L. G. Klassifikaciya i diagnostika merzlotnyh pochv Yakutii. – Yakutsk: YAF SO AN SSSR, 1987. – 172 s.
20. Desyatkin R. V., Goryachkin S. V., Konyushkov D. E., Krasilnikov P. V., Lebedeva M. P., Bronnikova M. A., Desyatkin A. R., Fedorov A. N., Khokhlov S. F., Lapteva E. M., Lupachev A. V., Mergelov N. S., Okoneshnikova M. V., Shishkov V. A., Turova I. V., Zazovskaya E. P. Cryosols in perspective: a view from the permafrost heartland. Guidebook-monograph for field excursions of the VII International Conference on Cryopedology. – Moscow-Yakutsk. – 2017. – 81 p.
21. Elovskaya L. G. Pochvy Chochur-Muranskoj opytно-biologicheskoy stancii // *Nauch. soobshch. AN SSSR, Sib. otd-je, Yakut. filial*, 1961. – Vypusk 5. *Biologiya*. – S. 3-11.
22. Okoneshnikova M. V. Sovremennoe sostoyanie i prognoz izmenenij pochv doliny srednej Leny (Central'naya Yakutiya) // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya*. – 2013. – № 3 (23). – S. 7-18.

23. Mazhajsij Yu. A., Tobratov S. A., Dubenok N. N., Pozhigin Yu. P. Agroekologiya tekhnogenno-zagryazennykh landshaftov. – Smolensk: Madzhenta, 2003. – 384 s.

24. Makarov V. N. Prikladnaya geohimiya Yakutska // Prikladnye ekologicheskie problemy g. Yakutska: sbornik nauchnykh trudov / pod red. Savvinova G. N. – Novosibirsk: Nauka, 2017. – S. 46-54.

25. Jarvis S. C., Lohes L. H. P., Hopper M. J. Cadmium uptake from solution by plants and its transport from roots to shoots // Plant and Soil, 1976. – Vol. 44 (1). – Pp. 179-191.

26. Korchagina K. V., Smagin A. V., Reshetina T. V. Ocenka tekhnogenogo zagryazneniya gorodskih pochv na osnove profil'nogo raspredeleniya tyazhelykh metallov i plotnosti slozheniya // Pochvovedenie. 2014. – № 8. – S. 988-997. doi: 10.7868/S0032180X14080085

27. Alekseev Yu. V. Tyazhelye metally v pochvah i rasteniyah. – L.: Agropromizdat, 1987. – 142 s.

28. Santillan-Nedrano J., Jurinak J.J. The chemistry of lead and cadmium in soil solid phase formation // Soil. Sci. Soc. Amer. Proc, 1975. – Vol. 39 (5). – Pp. 851-856.

29. Savvinov D. D. Sazonov N. N. Mikroelementy v severnykh ekosistemah: na primere Respubliki Saha (Yakutiya). – Novosibirsk: Nauka, 2006. – 208 s.

30. Sivceva N. E., Legostaeva Ya. B., Makarov B. C., Vasil'ev N. F. Ekologicheskaya ocenka sostoyaniya territorii g. Yakutska po summarnomu pokazatelyu zagryazneniya pochvennogo pokrova // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M. K. Ammosova. – 2011. – № 2. – S. 30-35.

