

РАЗДЕЛ 2. ТРАНСФОРМАЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Оригинальная научная (исследовательская) статья

УДК 504.73; 631.618

<https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-21-35>

Сравнительная географо-генетическая характеристика почвообразования на основе накопленной фитомассы в почвах антропогенных ландшафтов лесостепи Западной Сибири

Вадим Геннадьевич Двуреченский^{1,2}

¹ Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный педагогический университет, Новосибирск, Россия

^{1,2} dvu-vadim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6579-7813>

Аннотация. При изучении направленности почвообразования в антропогенных ландшафтах любых природно-климатических зон и поясов всегда следует рассматривать в первую очередь биологические процессы, а именно – синтез, аккумуляцию, минерализацию и гумификацию органического вещества. Поэтому целью исследования стало определение ведущих почвообразующих биологических процессов в антропогенных ландшафтах лесостепной зоны Западной Сибири для определения и сравнения почвенно-экологического статуса ландшафтов. Ставились задачи: определить почвенный состав ландшафтов на основе морфологических свойств почв; оценить общую фитомассу в различных типах почв антропогенных ландшафтов и сравнить ее с фитомассой зональных почв; определить ведущие биологические процессы, происходящие в почвах. Основой исследования послужили сравнительно-морфологический, сравнительно-генетический и сравнительно-географический методы. В статье рассмотрены почвенно-биологические процессы, которые происходят в антропогенных ландшафтах лесостепи. Установлено, что почвенный покров мозаичный. В его составе морфологически определяются технозоны гумусогенные и все типы эмбриоземов. Каждому типу эмбриоземов соответствует определенная стадия развития фитоценозов: эмбриоземам инициальным соответствует стадия с пионерной растительностью; эмбриоземам органо-аккумулятивным – простая растительная группировка; эмбриоземам дерновым – сложная растительная группировка; эмбриоземам гумусово-аккумулятивным и технозомам гумусогенным – замкнутый фитоценоз. Общая фитомасса и ее состав увеличивается и становится разнообразней в генетическом ряду от эмбриоземов инициальных и органо-аккумулятивных к эмбриоземам дерновым, технозомам и эмбриоземам гумусово-аккумулятивным. Тем не менее, общая наземная фитомасса самых генетически развитых эмбриоземов гумусово-аккумулятивных ниже зональных значений. Ведущими биологическими процессами в эмбриоземах начальных этапов становления экосистемы являются синтез и аккумуляция органического вещества; в эмбриоземах гумусово-аккумулятивных и в технозомах гумусогенных помимо синтеза и аккумуляции отмечаются зачатки процессов минерализации и гумификации. Установлен почвенно-экологический статус. На отвалах Бунгурского угольного разреза он удовлетворительный, так как в составе почвенного покрова присутствуют эмбриоземы гумусово-аккумулятивные и технозоны гумусогенные. Почвенно-экологический статус отвалов Горловского антрацитового разреза неудовлетворительный.

Ключевые слова: сукцессии, антропогенные ландшафты, почвообразовательные процессы, фитомасса, почвенно-экологический статус, эмбриоземы, технозоны

Для цитирования: Двуреченский В.Г. Сравнительная географо-генетическая характеристика почвообразования на основе накопленной фитомассы в почвах антропогенных ландшафтов лесостепи Западной Сибири // Антропогенная трансформация природной среды. 2022. Т. 8. № 1. С. 21–35. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-21-35>

SECTION 2. POLLUTION

Original Paper

Comparative geographic-genetic characteristics of soil formation based on accumulated phytomass in the soils of anthropogenic landscapes of Western Siberia forest steppe

Vadim G. Dvurechenskij^{1,2}

¹ Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

^{1,2} dvu-vadim@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6579-7813>

Abstract. When studying the direction of soil formation in soils of anthropogenic landscapes of any natural zones and belts, one should always consider primarily biological processes, namely, synthesis, accumulation, mineralization and humification of organic matter. Therefore, the aim of the study was to determine the leading soil-forming biological processes in the anthropogenic landscapes of the forest-steppe zone of Western Siberia to determine and compare the soil-ecological status. The tasks were: to determine the soil composition of landscapes based on the morphological properties of soils; to estimate the total phytomass in different types of soils of anthropogenic landscapes and compare it with the phytomass of zonal soils; determine the leading biological processes occurring in soils. The research was based on comparative morphological, comparative genetic and comparative geographical methods. The article deals with soil-biological processes that occur in the anthropogenic landscapes of the forest-steppe. It was found that the soil cover is mosaic. In its composition, humusogenic technozems and all types of embryozems are morphologically determined. Each type of embryozems corresponds to a certain stage of development of phytocenoses: initial embryozems correspond to the stage with pioneer vegetation; organo-accumulative embryozems - a simple plant grouping; sod embryozems - a complex plant grouping; to humus-accumulative embryozems and humusogenic technozems - a closed phytocenosis. The total phytomass and its composition increases and becomes more diverse in the genetic series from initial and organo-accumulative embryozems to sod and humus-accumulative embryozems. Nevertheless, the total terrestrial phytomass of the most genetically developed humus-accumulative embryozems is below the zonal values. The leading biological processes in the embryozems of the initial stages of the formation of an ecosystem are the synthesis and accumulation of organic matter; in humus-accumulative embryozems and in humusogenic technozems, in addition to synthesis and accumulation, the rudiments of mineralization and humification processes are noted. The soil and ecological status has been established. On the dumps of the Bungur coal mine, it is satisfactory, since the soil cover contains humus-accumulative embryozems and humusogenic technozems. The soil-ecological status of the dumps of the Gorlovsk anthracite section is unsatisfactory.

Key words: successions, technogenic landscapes, soil-forming processes, phytomass, soil-ecological status, embryozems, technozems

For citation: Dvurechenskij, V., 2022. Comparative geographic-genetic characteristics of soil formation based on accumulated phytomass in the soils of anthropogenic landscapes of Western Siberia forest steppe. *Anthropogenic Transformation of Nature*, 8(1), pp. 21–35. <https://doi.org/10.17072/2410-8553-2022-1-21-35> (in Russian)

Введение

Исследования почв антропогенных (техногенных) ландшафтов проводились многими отечественными и зарубежными учеными [4,12], [14,21], [25–34]. В лесостепной зоне Западной Сибири изучением почв занимались, в основном, сотрудники Института почвоведения и агрохимии СО РАН [3,21]. Многие исследовательские работы были посвящены регионам Сибири: западной части Красноярского края [1,18], Кемеровской и Новосибирской области [21,23] и отдельным антропогенным объектам: отвалам угольных разрезов, шламоотвалам, хвостохранилищам и т. п. [5,8], [13,17]. Сравнительная географо-генетическая характеристика почвообразования в нарушенных, в результате добычи каменного угля и антрацита, экосистемах лесостепи Западной Сибири не проводилась и дается впервые. При изучении особенностей и направленности почвообразования в почвах антропогенных ландшафтов любых природных зон и поясов всегда следует рассматривать в первую очередь биологические процессы, а именно – синтез, аккумуляцию, минерализацию и гумификацию органического вещества. Тем не менее, нужно учитывать и другие факторы почвообразования [9].

На начальном этапе развития антропогенной экосистемы (инициальная и органо-аккумулятивная фаза) органические вещества, образующиеся в результате фотосинтеза и появляющиеся за счет потребления животными и микроорганизмами растительной органики, поступают в почву как продукты жизнедеятельности компонентов биоценоза. Вместе с растительными и животными остатками почвы получают энергию, консервированную фотосинтетическим путем, биогенные элементы, аккумулярованные телами растений, а также исходные вещества для образования гумуса. Основным источником накопления гумуса в

почвах служат зеленые растения, которые ежегодно оставляют в почве и на ее поверхности большое количество органического вещества в виде опада.

На позднем этапе развития антропогенной экосистемы (дерновая и гумусово-аккумулятивная фаза) к процессам синтеза и аккумуляции присоединяются процессы минерализации и гумификации. Минерализация – распад органических остатков до конечных продуктов (вода, диоксид углерода и простые соли). В результате минерализации происходит сравнительно быстрый переход различных элементов (азот, фосфор, сера, кальций, магний, калий, железо и др.), закрепленных в органических остатках, в минеральные формы и потребление их живыми организмами следующих поколений. Гумификация – совокупность биохимических и физико-химических процессов трансформации продуктов разложения органических остатков в гумусовые кислоты почвы. Итог гумификации – закрепление органического вещества в почве в форме новых продуктов, устойчивых к микробиологическому разложению, служащих аккумуляторами огромных запасов энергии и элементов питания.

Цель исследования: оценить и сравнить почвенно-экологический статус антропогенных ландшафтов Западной Сибири.

Задачи:

1. Определить и сравнить почвенный состав ландшафтов на основе морфологических свойств почв.
2. Оценить и сравнить общую фитомассу в различных типах почв антропогенных ландшафтов и сопоставить ее с фитомассой зональных почв.
3. Определить ведущие биологические процессы, происходящие в почвах.
4. Выяснить почвенно-экологический статус изучаемых ландшафтов.

Материалы и методика

Основой исследования послужили сравнительно-морфологический, сравнительно-генетический и сравнительно-географический методы.

В работе применялась профильно-генетическая классификация почв антропогенных ландшафтов [4], которая основана на типодиагностических характеристиках горизонтов почв, формирующихся в посттехногенный период, то есть на морфологических особенностях профиля.

Наземная фитомасса отбиралась в начале августа с каждого типа почв методом квадратов на участке в 1 м² в трехкратной повторности. Растения распределяли по группам (злаки, бобовые, разнотравье) и высушивали. Подсчитывался средний результат.

Объектами исследования послужили почвы, формирующиеся в антропогенных ландшафтах, представляющие из себя транспортные внешние отвалы антрацитового разреза Горловский (Новосибирская область, Искитимский район, рядом с поселком Листвянский),

возрастом около 35 лет и угольного разреза Бунгурский (Кемеровская область, Новокузнецкий район, рядом с поселком Листвяги), возрастом более 35 лет. Отвалы окружают непосредственно разрезы выработок, имеют усеченную конусообразную форму, состоят из трех ярусов. Тела отвалов сформированы из смеси вскрышных (лессовидные суглинки и покровные глины) и вмещающих (песчаники, аргиллиты, алевролиты) пород со значительными включениями антрацита разреза Горловского и углистых частиц разреза Бунгурского. Развитие почв происходит в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. В структуре почвенного покрова на объектах исследования определяются почвы различных стадий эволюции: эмбриоземы (формирующиеся в результате самозарастания) и техноземы (искусственно созданные в результате проведения рекультивационных работ).

Зональными почвами в данной природно-климатической зоне являются черноземы выщелоченные, которые считаются наиболее плодородными и ценными на территории Западной Сибири.



Рис. 1. Естественный ландшафт лесостепи Западной Сибири с черноземами выщелоченными

Fig. 1. Natural landscape of the forest-steppe of Western Siberia with leached chernozems

Результаты исследования

Черноземы выщелоченные характеризуются интенсивным гумусонакоплением и выщелачиванием карбонатов из гумусового и подгумусового горизонта. В профиле отмечаются слабые признаки элювиально-иллювиальной дифференциации по илу, физической глине и валовому содержанию полуторных оксидов, что морфологически проявляется в наличии гумусовых бурых пленок и корочек на гранях структурных отдельностей в горизонте Вt, который является бескарбонатным. Формула профиля А-АВ-Вt-В_{Ca}-С_{Ca} [24].

Западносибирские черноземы выщелоченные характеризуются сравнительно небольшой (по сравне-

нию с черноземами теплых фаций), мощностью гумусового горизонта (<50 см), более высоким содержанием гумуса (6–11%) и высоким соотношением гуминовых кислот к фульвокислотам. Карбонаты находятся в нижней части профиля в виде пятен, мучнистых скоплений или натечных выделений [7].

Почвы антропогенных ландшафтов коренным образом отличаются от зональных черноземов выщелоченных. Типовые отличия возникают, когда изменен хотя бы один из пяти факторов почвообразования [9]. На изучаемых участках изменению подверглись сразу все факторы: климат, рельеф, материнская порода, биота (с учетом функции времени). Прибавился антропогенный фактор.

Разрез 1. Эмбриозем инициальный. Формируется на вышоложенном участке внешнего 35-летнего отвала Горловского разреза. Травянистая растительность единична (мать-и-мачеха, полынь) (рис. 2).

Классификационная принадлежность: ствол: пост-литогенные почвы; класс: биогенно-неразвитые; тип: эмбриозем инициальный; подтип: типичный; род: карбонатный [2].

C_1 (0–5 см) – сильнокаменистая порода с неравномерно распределенным мелкоземом и с содержанием крупнозема до 85%. В петрографическом составе преобладают обломки алевролитов темно-серого цвета, имеющими признаки физического выветривания. Мелкозем тяжелосуглинистый, не агрегирован, имеются единичные корни и белесые налеты карбонатов. Переход к нижележащему горизонту заметен по более плотному сложению, а так же по размеру обломков.

C_2 (5–15 см) – сильнокаменистая порода с содержанием крупнозема более 90%. Обломки пород без признаков выветривания. Темно-серый, темнее, чем вышележащий горизонт. На части обломков отмечается металлический блеск антрацита при разламывании. Единичные корни. Мелкозем темно-серый, почти черный, тяжелосуглинистый. Встречаются единичные корни

травянистой растительности. Имеются единичные белесые налеты карбонатов. Переход заметен по изменению цвета и размеру обломков породы.

C_3 (15–30 см) – буровато-темно-серый, на некоторых обломках металлический блеск и белесые пятна. Значительно меньше содержание и размеры крупнозема. Мелкозем буровато-темно-серый с малозаметным блеском. Единичные корни. Присутствуют признаки физического выветривания. Сухой.

Эмбриоземы органо-аккумулятивные – следующая стадия развития почв техногенных ландшафтов. На этой стадии профиль еще не дифференцирован, но на поверхности формирующейся почвы уже присутствует типодиагностический горизонт, представляющий собой слой подстилки разной степени разложения. Кроме того, образуется некоторая зона окисления в верхней части породы. Морфологически эта зона отличается от нижележащей по цвету мелкозема, более высокой степени физической дезинтеграции крупнозема.

Разрез 2. Эмбриозем органо-аккумулятивный. Формируется на склоне (3^0) юго-восточной экспозиции внешнего 35-летнего отвала Горловского разреза под разнотравно-злаковой растительной ассоциацией, представленной мать-и-мачехой, осокой, кровохлебкой, полынью. Древесная растительность представлена березой, тополем и единичными осинами (рис. 3).



Рис. 2. Участок антропогенного ландшафта Горловского антрацитового месторождения с эмбриоземами инициальными

Fig. 2. A section of the anthropogenic landscape of the Gorlovsk anthracite deposit with initial embryozems



Рис. 3. Участок антропогенного ландшафта Горловского антрацитового разреза с эмбриоземами органо-аккумулятивными

Fig. 3. A section of the anthropogenic landscape of the Gorlovsk anthracite deposit with organo-accumulative embryozems

Классификационная принадлежность: ствол: пост-литогенные почвы; класс: биогенно-неразвитые; тип: эмбриозем органо-аккумулятивный; подтип: типичный; род: обычный; вид: фрагментарный.

A_0 (0–2 см) – бурая подстилка, состоящая из слабо-разложившегося и неразложившегося опада многолетних злаковых и листьев древесных растений, а так же мелких веточек. На границе с нижележащим горизонтом слежавшийся опад бурого цвета. Переход четкий по изменению вещественного состава.

C_1 (2–3 см) – серо-бурый с металлическим блеском и большим количеством органических остатков разной степени разложения (корешки, веточки, палочки, листья). Петрографический состав обломков представлен в основном алевролитами, а так же антрацитом, который придает металлический блеск. Признаки физического выветривания. Мелкозем темно-бурого цвета тяжело – и среднесуглинистый. Свежий. Переход по окраске, количеству крупных агрегатов.

C_2 (3–20 см) – темно-серый, на некоторых обломках породы виден блеск и белесые налеты карбонатов. Органических остатков значительно меньше, чем в вышележащем горизонте. Количество крупнозема, состоящего из обломков алевролитов и антрацитов, около 75%. Содержится большое количество мелких кореш-

ков. Мелкозем почти черного цвета, среднесуглинистый, увлажнен. Переход малозаметен по степени выветривания породы.

C_3 (20–30 см) – темно-серый, на некоторых агрегатах металлический блеск антрацита и белесые налеты карбонатов. Обломки породы крупнее, чем в вышерасположенном горизонте и в большем количестве. Присутствуют слабо-разложившиеся корни травянистой растительности. Мелкозем представлен частицами темно-серого цвета, не агрегирован, средне – и тяжело-суглинистый. В петрографическом составе крупнозема преобладают алевролиты и антрацит. Увлажнен.

Инициальную и органо-аккумулятивную стадии можно считать начальной фазой образования почвенного покрова ландшафта. При благоприятных условиях эволюционирования антропогенной экосистемы (без лимитирующих факторов) происходит переход в следующую, дерновую стадию.

Разрез 3. Эмбриозем дерновый. Формируется на выположенном участке внешнего 35-летнего отвала Горловского разреза под злаково-разнотравной растительной ассоциацией, в которой преобладает осока, встречаются мать-и-мачеха, полынь, донник. Древесная растительность представлена березой, тополем, встречаются единичные сосны и осины (рис. 4).



Рис. 4. Участок антропогенного ландшафта Горловского антрацитового разреза с эмбриоземами дерновыми

Fig. 4. A section of the anthropogenic landscape of the Gorlovsk anthracite deposit with sod embryozems

Классификационная принадлежность: ствол: пост-литогенные почвы; класс: биогенно-неразвитые; тип: эмбриозем дерновый; подтип: типичный; род: обычный; вид: фрагментарный.

A_0 (0–3 см) – бурая подстилка, состоящая из слабо-разложившегося и не разложившегося опада многолетних злаковых и листьев древесных растений, а так же мелких веточек. На границе с нижележащим горизонтом слежавшийся опад бурого цвета. Переход ясный по изменению вещественного состава.

A_d (3–5 см) – буро-коричневый с черными пятнами разложившихся алевролитов и аргиллитов. Дернина представляет собой корни злаков, диаметром 4–5 мм. Количество корней составляет примерно 75%, которые переплетают обломки слаборазложившейся породы. Содержит в себе остатки растительности: веточки, палочки, мох, листочки деревьев. Мелкозем среднесуглинистый. Темный цвет обусловлен, главным образом, частицами антрацита. Сухой. Переход заметен по количеству корней, цвету и плотности.

C_1 (5–12 см) – темно-серый с большим количеством полуразложившихся и не разложившихся мелких обломков аргиллитов и единичных песчаников. Много корней, диаметром до 4 мм, переплетающих породу.

Крупнозем представлен не выветривавшимися обломками аргиллитов, песчаников и алевролитов. Мелкозем среднесуглинистый. Почва свежая. Переход к нижележащему горизонту заметен по изменению окраски, плотности, а так же по смене вещественного состава.

C_2 (>12 см) – темно-серая смесь с блестящими частицами антрацита на крупных агрегатах. Светлее предыдущего – смесь мелкозема и слабо выветрившихся аргиллитов и алевролитов. Мелкозем среднесуглинистый с включениями более грубых частиц. Множество корней травянистой растительности. Размер обломков породы больше, чем у предыдущего. Свежий.

Разрез 4. Эмбриозем гумусово-аккумулятивный. Формируется на выположенном участке внешнего 35-летнего отвала Бунгурского разреза под злаково-бобово-разнотравной растительной ассоциацией, с преобладанием мятлика, тимофеевки, донника, клевера, мышиного горошка, полыни, земляники (рис. 5).

Классификационная принадлежность: ствол; пост-литогенные почвы; класс: биогенно-неразвитые; тип: эмбриозем гумусово-аккумулятивный; подтип: типичный; род: обычный; вид: фрагментарный.

A_d (0–2 см) – темно-серая плотная дернина, густо переплетенная живыми и отмершими корнями травянистых растений. Мелкие обломки плотных пород охвачены корневой массой. Мелкозем среднесуглинистый, окрашен органическим веществом в темно-серый цвет. Переход постепенный по количеству полностью разложившихся корней.

A_1 (2–8 см) – темно-серого цвета. Мелкозем представлен опесчаненным средним суглинком комковато-пылеватой структуры. Хорошо гумусирован. Много корней травянистых растений. Мелкие обломки алевролитов и других плотных пород хорошо выветрелые

и имеют мягкие контуры. Переход к нижележащему горизонту заметен по цвету.

C_1 (8–45 см) – темно-бурая смесь выветрелого крупнозема и мелкозема. Мелкозем – опесчаненный средний суглинок, комковато-пылеватой структуры. Крупнозем (95%) – обломки алевролитов и аргиллитов различной величины. Встречаются единичные корни.

Дерновую и гумусово-аккумулятивную стадии можно считать поздней фазой образования почвенного покрова ландшафта.



Рис. 5. Участок антропогенного ландшафта Бунгурского угольного разреза с эмбриоземами гумусово-аккумулятивными

Fig. 5. A site of the anthropogenic landscape of the Bungur coal mine with humus-accumulative embryozems

Разрез 5. Технозем. Сформирован (создан) на выработанном рекультивированном участке углеразреза Бунгурский. Возраст отвала более 35 лет. Рекультивация включала в себя горнотехнический этап, отсыпку плодородного слоя почвы и биологическую рекультивацию. Среди травянистой растительности преобладают злаковые (ежа, тимopheевка, мятлик и др.) бобовые (горошек мышиный, эспарцет), полынь, земляника, одуванчик (рис. 6).

Классификационная принадлежность: ствол: постлитогенные почвы; класс: техноземы; тип: технозем дифференцированный; подтип: гумусогенный; род: карбонатный; вид: нормальный.

A_d (0–8 см) – серая с буроватыми пятнами, ореховато-комковатая структура, в некоторых местах

пластинчатая, большое количество корней с низкой степенью разложения, включения угля и карбонатов, пористая, средний суглинок, граница языковатая.

C_1 (9–24 см) – буровато-серая с серыми и светло-бурными пятнами, тяжелосуглинистая, структура неясно призматическая мелкозернистая, большое количество корней травянистой растительности, включения угля и аргиллита разной степени разложения, граница языковатая, вскипает.

C_2 (24–50 см) – светло-бурая с охристым оттенком и серыми пятнами, среднесуглинистая, пластинчато-мелкочешуйчатая, сильно уплотнена, присутствуют единичные корни, кремнеземистая присыпка, пятна гумуса, единичные включения угля.



Рис. 6. Участок антропогенного ландшафта Бунгурского угольного разреза с техноземами гумусогенными

Fig. 6. A section of the anthropogenic landscape of the Bungur coal mine with humusogenic technozems

В морфологическом отношении эмбриоземы имеют черты сходства и различия: 1). Слаборазвитый почвенный профиль (до 45 см) и слабая степень морфологической дифференциации его минеральной части на генетические горизонты; 2). Присутствие большого количества крупнозема и сравнительно невысокое содержание средне- и тяжелосуглинистого мелкозема; 3). Эмбриоземы имеют примерно схожие темно-серые оттенки окраски, что обусловлено большим количеством антрацита или углистых частиц в профиле. Характерной особенностью органо-аккумулятивных эмбриоземов является формирование так называемой зоны окисления в верхней части породы (морфологически отличается бурым цветом мелкозема); 4). Отмечается низкая увлажненность инициальных эмбриоземов в результате действия солнечных лучей (инсоляция), которые притягиваются к темным оттенкам почвы. Иссущение свидетельствует о нарушениях водно-воздушного режима, при котором происходит затруднение функционирования почвенной биоты, а значит и процессов преобразования органического вещества; 5). Наблюдается преобладание процессов аккумуляции органического вещества перед его минерализацией; 6). С появлением корнеобитаемого дернового горизонта, в эмбриоземах начинают происходить процессы минерализации и гумификации, о чем свидетельствует появление пусть и маломощного, но гумусово-аккумулятивного горизонта.

Техноземы – искусственно созданные почвы. Для создания техноземов на отвалах Бунгурского углеразреза после горнотехнического этапа применялся послойный метод нанесения ресурсов рекультивации на тело отвала. Сначала укладывался слой до 25 см потенциально плодородной породы (карбонатные суглинки и легкие покровные глины), затем поверх его наносился плодородный гумусовый слой почвы (ПСП) в 10–20 см. Визуально техноземы напоминают верхние горизонты черноземов выщелоченных, тем не менее, их наборы почвенно-экологических функций несопоставимы. В техноземах нарушены сопряженные связи между горизонтами, которые в черноземах устанавливаются десятки тысяч лет. Технология создания техноземов путем отсыпки на начальных этапах приводит к деградации и ухудшению агрофизических и агрохимических свойств снятого ПСП. Главная причина этого заключается в несовершенстве технологии создания техноземов и хранения ПСП в буртах [1, 27]. Несмотря на это, создание техноземов – наиболее эффективный и быстрый способ восстановления нарушенного ландшафта.

Морфологическое строение почв антропогенных ландшафтов отражает биогенно-аккумулятивные процессы, чем подчеркивается ведущая роль биологических процессов в формировании профиля, – тем самым указывается на генетическую подчиненность всех других профилообразующих процессов биологическим. Биологические процессы в эмбриоземах специфичны.

Процессы синтеза, аккумуляции, минерализации и гумификации органического вещества не сбалансированы. На начальных стадиях развития нарушенной экосистемы прослеживается явное преобладание процессов синтеза и аккумуляции органического вещества над процессами минерализации и гумификации; на поздних стадиях процессы минерализации и гумификации проявляются четче.

Подчиняясь законам классического почвоведения, почвы эволюционируют, согласно воздействию на них зональных факторов почвообразования, в связи с чем происходит смена сукцессий фитоценоза, микробоценоза и других ценозов от простых группировок к более сложным [3, 30]. В результате неравномерной смены ценозов, мозаичность почвенного покрова в ландшафте имеет пестрый характер, который обусловлен разнообразием макро – и микроклимата, мезо – и микрорельефа, растительности, почвообразующих пород, жизнедеятельности живых организмов, другими словами, биотических и абиотических факторов почвообразования [3, 15], [16, 23]. Повсеместный характер такой мозаичности определил необходимость введения в почвоведение такого понятия, как структура почвенного покрова [2].

Почвенные профили в естественных ландшафтах представляют собой в большинстве случаев полигенетические образования, унаследовавшие ряд морфологических признаков, важнейших свойств и экологических функций от предыдущих фаз почвообразования, смена которых вызвана различными изменениями. В антропогенных ландшафтах, вследствие малого периода почвообразования и, следовательно, однотипности климатических условий почвы являются моногенетическими образованиями. Поэтому исключительной особенностью таких почв является настолько высокая степень сингенетичности почвенных и биологических процессов, что возникает возможность определить по строению почвенного профиля основные черты надпочвенных и внутрипочвенных биоценозов и фитоценозов и распознать строение почвенного профиля, и, соответственно, его типовую принадлежность. В силу методических сложностей исследования сингенетичности фитоценозов с древесными или кустарниковыми растениями и почвами анализ процессов ограничивается лишь травянистыми сообществами. На исследуемых самовосстанавливающихся участках и полях рекультивации преобладают виды, характерные для безлесных пространств, занятых суходольными лугами.

Начальные стадии биологического освоения антропогенного местообитания характеризуются преобладанием транспортных явлений – перемещение способных к миграции представителей флоры и фауны, глав-

ным образом микроорганизмов и растений, с естественных ближайших экосистем и закреплением их в соответствующих нишах [11]. Поздние стадии биологического освоения характеризуется стремлением нарушенной экосистемы войти в равновесие с окружающими естественными экосистемами под влиянием почвообразовательных факторов.

В структуре почвенного покрова выделены почвы различных стадий эволюции: эмбриоземы и техноземы. В соответствии с этим, определились четыре стадии первичной сукцессии растительных группировок: 1) пионерная (инициальная) растительная группировка на эмбриоземах инициальных; 2) простая растительная группировка на эмбриоземах органо-аккумулятивных; 3) сложная растительная группировка на эмбриоземах дерновых; 4) замкнутый фитоценоз на эмбриоземах гумусово-аккумулятивных и техноземах гумусогенных.

Для инициальных фитоценозов характерно стремление в максимально полной степени использовать эдафические условия. Малая емкость биологического круговорота, слабая интенсивность фотосинтетических процессов, обусловленных неразвитостью микробоценозов и пионерных растительных группировок, некоторое время не могут обеспечить поступление в почву органического вещества – главного преобразователя исходной породы. На стадии формирования инициальных группировок характерны жесткие свойства и режимы естественного экофона, задаются первые предпосылки для формирования зонального микро- и макробиологического сообщества. В благоприятные периоды года активность микробных сообществ резко возрастает и формируется биологический круговорот, это и обеспечивает стартовое развитие экосистемы. Инициальные растительные группировки представлены единичными сорными пионерными растениями, хаотично произрастающими в пределах антропогенного местообитания, не образуя сомкнутого ценоза. В структуре фитомассы преобладает надземная часть [10].

На смену инициальным растительным группировкам приходят виды растений, более требовательные к условиям жизнеобеспечения. При отсутствии конкуренции это приводит к формированию простых растительных сообществ и усилению мозаичности травянистого покрова [14]. Преобладают процессы синтеза органического вещества над его минерализацией и накопление азотсодержащих соединений. На данной стадии в толще породы формируются очаги скопления отмерших органических остатков. Объем фитомассы возрастает в несколько раз, по сравнению с объемом фитомассы на эмбриоземах инициальных и достигает 97 г/м² (табл.) с проективным покрытием 70%. Формируется разнотравная ассоциация.

Таблица 1

Надземная фитомасса в почвах антропогенных ландшафтов и зональной почве

Table 1

Aboveground phytomass in soils of anthropogenic landscapes and zonal soils

Доминирующие виды (рода, семейства) растений // Dominant species (genus, family) of plants	Фитомасса (высушенная), г/м ² // Phytomass (dried), g/m ²	Общая фитомасса (высушенная), г/м ² // Total phytomass (dried), g/m ²
Эмбриоземы инициальные (Горловский разрез) // Initial embryozems (Gorlovsk deposit)		
<i>Artemisia</i>	12,43	23,13
Другие // Other	10,70	
Эмбриоземы органо-аккумулятивные (Горловский разрез) // Organo-accumulative embryozems (Gorlovsk deposit)		
<i>Tussilago farfara</i>	95,05	96,90
<i>Carex</i>	1,00	
Другие // Other	0,85	
Эмбриоземы дерновые (Горловский разрез) // Sod embryozems (Gorlovsk deposit)		
<i>Carex</i>	195,43	208,95
<i>Tussilago farfara, Artemisia</i>	10,50	
<i>Melilotus</i>	3,02	
Эмбриоземы гумусово-аккумулятивные (Бунгурский разрез) // Humus-accumulative embryozems (Bungur deposit)		
<i>Poaceae</i>	210,75	464,26
<i>Fabaceae</i>	198,10	
Другие // Other	53,41	
Техноземы гумусогенные (Бунгурский разрез) // Humus-producing technozems (Bungur deposit)		
<i>Poaceae</i>	220,60	443,84
<i>Fabaceae</i>	130,00	
Другие // Other	93,24	
Черноземы выщелоченные // Leached chernozems		
<i>Poaceae</i>	450,36	736,58
<i>Fabaceae</i>	154,67	
Другие // Other	131,55	

В составе фитомассы эмбриоземов органо-аккумулятивных по-прежнему преобладает надземная часть фитоценоза. По причине того, что процессы минерализации и гумификации развиты слабо, либо не развиты вовсе, органическое вещество скапливается на поверхности почвы и формирует органо-аккумулятивный генетический горизонт (подстилка). Данный горизонт значительно смягчает гидротермические градиенты, обеспечивает фитоценозы дополнительным количеством воды, смягчая действие засухи и снижая прогревание поверхности. Все это стимулирует развитие внутрипочвенных биологических процессов.

На стадии формирования сложной растительной группировки на эмбриоземах дерновых появляются микроорганизмы, способные разлагать клетчатку [11]. Результативность их жизнеобеспечения остается невысокой, и темпы минерализации и гумификации невелики. Большая часть синтезированной растениями фитомассы сохраняется в почве без существенных изме-

нений. В составе растительных группировок сокращается доля длиннокорневищных растений. Видовое разнообразие травянистого покрова резко возрастает и находится в непосредственной зависимости от биоклиматических условий данного ландшафта, появляются рыхлокустовые злаки. Суммарная фитомасса достигает 209 г/м², проективное покрытие увеличивается до 85–90%. В итоге почвенный профиль эмбриоземов дерновых оказывается разделен на две части: органо-генную (дерновый горизонт и подстилка) и литогенную (все нижележащие слои).

Процесс гумификации отмершего растительного опада на отвалах Горловского антрацитового разреза находится в зачаточном состоянии и не достигает масштабов, при которых происходит формирование самостоятельного гумусово-аккумулятивного горизонта. На отвалах Бунгурского угольного разреза гумусово-аккумулятивный горизонт сформирован, но имеет малую мощность. Тем не менее, произошел переход в гу-

мусово-аккумулятивную стадию с замкнутой растительной группировкой на эмбриоземах гумусово-аккумулятивных, а значит, процесс гумификации идет намного интенсивнее по сравнению с почвами Горловских отвалов.

Источником органического вещества в почвах является фитомасса. Прослеживается увеличение фитомассы в ряду почв от эмбриоземов инициальных к органо-аккумулятивным, дерновым, к техноземам и эмбриоземам гумусово-аккумулятивным (табл.). Величина надземной фитомассы на эмбриоземах гумусово-аккумулятивных, формирующихся на самовосстанавливаемом участке отвала Бунгурского углереза и на сформированных техноземах гумусогенных, в 4 и более раза выше, чем величина фитомассы на эмбриоземах органо-аккумулятивных, что свидетельствует о благоприятных условиях почвообразования, и что будет способствовать увеличению гумусообразования и гумификации в этих типах почв. Большое количество фитомассы подчеркивает положительные результаты рекультивационных работ, особенно их биологического этапа, что позволяет в относительно короткое время (25–35 лет) в условиях лесостепи получить 100% проективное покрытие и богатое видовое разнообразие травянистого покрова. Вероятно, что количество фитомассы в нарушенных экосистемах со временем будет увеличиваться и стремиться к зональным значениям.

Обсуждение

При изучении направленности почвообразовательных процессов в антропогенных почвах всегда принимаются во внимание в первую очередь биологические процессы. Известно, что в антропогенных ландшафтах накопление и трансформация органического вещества являются наиболее значимыми проявлениями начальных этапов почвообразования, и эти процессы (основные из которых окислительно-восстановительные) протекают при участии ферментов. В направлении от инициальных эмбриоземов к гумусово-аккумулятивным прослеживается увеличение ферментативной активности [19]. Следовательно, усиление биохимической активности с течением времени способствует ускорению процессов самовосстановления почв антропогенных ландшафтов.

Почвы антропогенных ландшафтов Бунгурского угольного и Горловского антрацитового разрезов следует считать азональными почвенными образованиями. Азональность эмбриоземов и техноземов приводит к появлению новых экологических систем с рядом отличительных особенностей от зональных.

На поверхности отвала Бунгурского углереза за более чем 35 лет произошло естественное развитие растительных сукцессий до стадии сложного замкнутого фитоценоза. На таких участках ландшафта с наиболее благоприятными условиями для почвообразования, которые способствовали естественному развитию процессов (например, увеличение количества суглинистого материала в составе субстрата), сформировались и продолжают развиваться эмбриоземы гуму-

сово-аккумулятивные. На участках отвалов Бунгурского угольного и Горловского антрацитового разрезов с неблагоприятными условиями (например, с преобладанием плотных песчаников и крупнообломочных пород), почвообразование приостановилось на начальных этапах – инициальном и органо-аккумулятивном.

Формирующийся почвенный покров в нарушенных экосистемах может быть использован в качестве индикатора развития процессов почвообразования и оценки почвенно-экологического статуса антропогенных ландшафтов. Чем выше скорость прохождения стадий растительной сукцессии и стадий развития эмбриоземов при естественном зарастании, тем выше почвенно-экологический статус. Наличие в составе почвенного покрова антропогенных ландшафтов эмбриоземов гумусово-аккумулятивных свидетельствует о благоприятных перспективах восстановления, и, наоборот, если в составе почвенного покрова антропогенных ландшафтов преобладают наименее генетически развитые эмбриоземы инициальные и органо-аккумулятивные, то прогноз для восстановления нарушенных территорий менее благоприятный, а значит, почвенно-экологический статус экосистемы будет низким. Некоторые исследователи при оценке статуса берут во внимание автоморфные позиции отвалов. Это в корне не верно, так как отвал состоит не только из выположенных участков, а имеет и склоновые поверхности, да еще и в разных экспозициях.

Проведенные исследования показали, что почвенно-экологический статус антропогенных объектов связан, в первую очередь, со свойствами почвообразующих пород, а так же с другими факторами почвообразования, которые оказывают существенное влияние на скорость восстановления почвенного покрова при их самозарастании или рекультивации. На поверхности и склонах нарушенных экосистем формируется почвенный покров, который представлен сочетанием различных типов эмбриоземов и техноземов. Каждый тип эмбриоземов и техноземов и соотношение площадей занимаемых тем или иным типом характеризует, определяемый законами сингенеза, уровень жизнедеятельности биоценоза, который также влияет на почвенно-экологический статус антропогенного ландшафта.

Известно, что антропогенные ландшафты в лесостепи Западной Сибири входят в экоклин в течение 15–20 лет с момента образования [6], с формированием при благоприятных условиях эмбриоземов гумусово-аккумулятивных и приобретают отличный почвенно-экологический статус. Тем не менее, после 35 лет развития исследуемых антропогенных экосистем в их почвенном покрове присутствуют все типы эмбриоземов, что определяет неоднородность почвенного покрова, которая связана с неоднозначными факторами и условиями почвообразования.

Почвенно-экологический статус отвалов Бунгурского угольного разреза, тем не менее, можно считать удовлетворительным, так как по истечении 35 лет с момента начальной фазы техногенеза в составе почвен-

ного покрова формируются эмбриоземы гумусово-аккумулятивные и техноземы гумусогенные. Проводились рекультивационные работы (хотелось, чтобы их проводилось больше) по восстановлению нарушенных территорий.

Почвенно-экологический статус отвалов Горловского антрацитового разреза неудовлетворительный. В составе почвенного покрова нет явных морфологических признаков образования гумусово-аккумулятивного горизонта, хотя предпосылки к этому есть. Рекультивационные работы за 35 лет не проводились.

Развитие эмбриоземов в лесостепной зоне имеет 2 направления: 1) инициальные ↔ органо-аккумулятивные; 2) инициальные → органо-аккумулятивные → дерновые → гумусово-аккумулятивные.

В зависимости от экспозиции и крутизны склонов отвалов, эмбриоземы остаются в метастабильном состоянии на инициальной стадии. И это состояние не изменится до тех пор, пока не появятся условия для перехода в органо-аккумулятивную и далее в дерновую и гумусово-аккумулятивную стадии. Следующая, органо-аккумулятивная, стадия эмбриоземов также остановила свое развитие и находится в метастабильном состоянии. С проведением лесной рекультивации на отвалах Бунгурского углереза под посадками сосны и облепихи (облепиха выпала к 30-летнему возрасту ландшафта, превратив между собой сосны в непролазные дебри) травянистый покров практически не развивается, поэтому дернина не образуется. В результате этого органо-аккумулятивная стадия не только никогда не сможет эволюционировать в дерновую, а тем более в гумусово-аккумулятивную, но вследствие неблагоприятных условий (пожар, в том числе эндогенный, болезни растений) может деградировать до инициальной, что и произошло. При благоприятных условиях эмбриоземы органо-аккумулятивные эволюционировали в дерновые и гумусово-аккумулятивные.

На данный момент времени ландшафты находятся в метастабильном состоянии. Ожидается, что эмбриоземы инициальные не будут иметь дальнейшего развития, а на их месте будет оставаться техногенная пустыня. Эмбриоземы органо-аккумулятивные либо перейдут в следующую дерновую стадию, либо на их месте сформируются почвы под лесными насаждениями на каменистом субстрате. Эмбриоземы дерновые должны перейти в гумусово-аккумулятивную стадию с дальнейшим формированием на этих участках сухостепных почв на каменистом субстрате с маломощным гумусовым горизонтом.

Последующий мониторинг ландшафтов должен включить в себя аналитические исследования по групповому и фракционному составу железа для выявления подтиповых особенностей эмбриоземов [8]. Подтиповые особенности почв определяются по ведущим почвообразовательным процессам (гумусонакопление, буроземообразование, псевдоподзоливание и т.д.). Это даст возможность оценить скорость и направленность почвообразования с целью прогнозирования и моделирования состава почвенного покрова антропогенных ландшафтов.

Выводы

1. Почвенный покров антропогенных ландшафтов мозаичный. В его составе морфологически определяются техноземы гумусогенные и все типы эмбриоземов. Каждому типу эмбриоземов соответствует определенная стадия развития фитоценозов: эмбриоземам инициальным соответствует стадия с пионерной растительностью; эмбриоземам органо-аккумулятивным – простая растительная группировка; эмбриоземам дерновым – сложная растительная группировка; эмбриоземам гумусово-аккумулятивным и техноземам гумусогенным – замкнутый фитоценоз с довольно богатым видовым разнообразием.

2. Общая фитомасса и ее состав увеличивается и становится разнообразней в генетическом ряду почв антропогенных ландшафтов от эмбриоземов инициальных и органо-аккумулятивных к эмбриоземам дерновым и гумусово-аккумулятивным. Тем не менее, общая, наземная фитомасса самых генетически развитых эмбриоземов гумусово-аккумулятивных ниже зональных значений.

3. Ведущими биологическими процессами в эмбриоземах начальных этапов становления экосистемы являются синтез и аккумуляция органического вещества; в эмбриоземах гумусово-аккумулятивных и в техноземах гумусогенных помимо синтеза и аккумуляции отмечаются зачатки процессов минерализации и гумификации.

4. Почвенно-экологический статус отвалов Бунгурского угольного разреза удовлетворительный, так как в составе почвенного покрова присутствуют эмбриоземы гумусово-аккумулятивные и техноземы гумусогенные. Проводились рекультивационные работы по восстановлению нарушенных территорий. Почвенно-экологический статус отвалов Горловского антрацитового разреза неудовлетворительный. В составе почвенного покрова нет явных морфологических признаков образования гумусово-аккумулятивного горизонта, хотя предпосылки к этому есть. Рекультивационные работы не проводились.

Список источников

1. Андроханов В.А., Двуреченский В.Г. Проблемы рекультивации техногенных экосистем Красноярского края // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. 2013. Т. 6. № 2. С. 153–158.
2. Андроханов В.М., Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 159 с.
3. Андроханов В.А., Курачев В.М. Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
4. Гаджиев И.М., Курачев В.М. Генетические и экологические аспекты исследования и классификации почв техногенных ландшафтов // Экология и рекультивация техногенных ландшафтов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. С. 6–15.

5. Госсен И.Н., Беланов И.П. Гранулометрический состав эмбриоземов в техногенных ландшафтах лесостепной зоны Кузбасса // Сибирский экологический журнал. 2011. № 5. С. 713–718.
6. Двуреченский В.Г. Использование показателей группового состава железа для генетической диагностики процессов почвообразования в эмбриоземах техногенных ландшафтов Кузбасса // Почвоведение и агрохимия. 2010. № 2. С. 12–22.
7. Двуреченский В.Г. Географо-генетическая характеристика форм железа в эмбриоземах Кузбасса: автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.02.13. Новосибирск, 2011. 19 с.
8. Двуреченский В.Г., Середина В.П. Почвенно-экологическое состояние и пути восстановления техногенных экосистем лесостепного пояса Кузнецкой котловины // Безопасность жизнедеятельности. 2017. № 12 (204). С. 47–52.
9. Докучаев В.В. Учение о зонах природы и классификация почв. Сочинения, т. VI. М. Л.: АН СССР, 1951. 375 с.
10. Кандрашин Е.Р. Сукцессии биоты в техногенных экосистемах (на примере Кузнецкого угольного бассейна): Автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.02.13. Новосибирск, 1988. 18 с.
11. Клевенская И.Л. Микрорастительные ассоциации техногенных экосистем // Тез. Докл. 8 Всесоюз. Съезда почвоведов. Новосибирск, 1989. Т. 6. С. 122–128.
12. Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 176 с.
13. Куляпина Е.Д., Курачев В.М. Специфика накопления органических компонентов в почвах техногенных ландшафтов // Сибирский экологический журнал. 2004. Т. 11. № 3. С. 345–353
14. Махонина Г.И., Чибрик Т.С. Агрохимическая и геоботаническая характеристика гидроотвалов Челябинского угольного бассейна // Растение и промышленная среда. Свердловск: Изд-во Уральск. ун-та, 1974. С. 127–137.
15. Миронычева-Токарева Н.П. Динамика растительности при зарастании отвалов (на примере КАТЭКа). Новосибирск: Наука, 1998. 172 с.
16. Моторина Л.В. Ижевская Т.И. Основные направления индикации сукцессий в техногенных ландшафтах // Влияние деятельности человека на природные экосистемы. М., 1980. С. 143–152.
17. Овсянникова С.В., Середина В.П. Региональный мониторинг почв Кузнецкого угольного бассейна по накоплению подвижных форм тяжелых металлов // Вестник КрасГАУ. 2014. № 11 (98). С. 100–105.
18. Полохин О.В. Трансформация литогенных форм фосфатов при почвообразовании в техногенных ландшафтах (на примере КАТЭКа): автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.02.13. Новосибирск, 2008. 18 с.
19. Середина В.П., Алексеева Т.П., Сысоева Л.Н. Исследование процессов формирования органического вещества в нарушенных при угледобыче почвах // Вестник ТГУ. Биология, 2012. № 1 (17). С. 18–31.
20. Соколов Д.А. Специфика определения органических веществ педогенной природы в почвах техногенных ландшафтов Кузбасса // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 2 (18). С. 17–25.
21. Трофимов С.С., Таранов С.А. Особенности почвообразования в техногенных экосистемах // Почвоведение. 1987. № 11. С. 95–99.
22. Фаткулин Ф.А. Органическое вещество молодых почв техногенных экосистем Кузбасса: Автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.02.13. Новосибирск, 1988. 17 с.
23. Чибрик Т.С. Формирование растительных сообществ в процессе самозарастания на отвалах угольных месторождений Урала // Растения и промышленная среда. Свердловск, 1979. С. 23–59.
24. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
25. Arguile R.T. Reclamation five industrial sites in the east midlans. «J. Inst. Munic. Eng.», 1971. № 6. 98 p.
26. Beaver S.H. Land reclamation. «The Chartered Surveyor», 1960. № 12. 92 p.
27. Gossen R.G., Hardisty P.E. et al. Site Remediation Technology Advances // 15th World Petroleum Congress. China, Beijing, 17 Okt. 1997, Preprint of the 15th WPC, 10 p.
28. Knabe W. Zur Wiederurbarmachung im Braunkohlenbergbau. Berlin, 1959. 306 p.
29. Lindsay W.J. Chemical equilibria in soils. N.Y.: Wiley, 1979. 449 p.
30. Prach K. Succession of Veccession on Dumps from Strip Coal Mining N.W. Bogemia. Czechoslovakia // Folia geobotanica et phytotaxonomica. 1987. № 22. P. 339–354.
31. Smith H.G., Morse H.H., Bernath G.E., Gillogli L.E., Brigs W.M. Classification of strip-mined spoil banks // The Ohio Journal of Science, 1964, № 2, P. 168–175.
32. Stevenson F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reaction. N.Y., John Wilcy&Sons, 1982. 443 p.
33. Tate III P.L. Soil Organic Matter Biological and Ecological Effects. N.Y.: John Wiley&Sons, 1991. 399 p.
34. Werner K. Probleme der Wiedernutzbarmachung von Braunkohlenkippen fur landwirt-schaftliche Zwercke. Hall, 1966. 123 p.

References

1. Androkhanov, V., Dvurechenskij, V., 2013. Problemy rekultivatsii tekhnogennykh ekosistem Krasnoyarskogo kraja [Problems of reclamation of technogenic ecosystems of the Krasnoyarsk Territory]. *Bulletin of the Irkutsk State University. Series: Biology. Ecology.* (2), pp. 153–158. (in Russian).
2. Androkhanov, V., Kulyapina, E. and Kurachev, V., 2004. *Pochvy tekhnogennykh landshaftov: genezis i*

- evolyutsiya* [Soils of technogenic landscapes: genesis and evolution]. Novosibirsk: Publishing house SO RAN, pp. 6–15. (in Russian).
3. Androkhonov, V., Kurachev, V., 2010. *Pochvenno-ekologicheskoye sostoyaniye tekhnogennykh landshaftov: dinamika i otsenka* [Soil-ecological state of technogenic landscapes: dynamics and assessment]. Novosibirsk: Publishing house of SB RAS. 224 p. (in Russian).
 4. Gadzhiev, I., Kurachev, V., 1992. *Geneticheskiye i ekologicheskiye aspekty issledovaniya i klassifikatsii pochv tekhnogennykh landshaftov* [Genetic and ecological aspects of research and classification of soils of technogenic landscapes]. Novosibirsk: Nauka SB Publ.; 1992. 305 p. (in Russian).
 5. Gossen, I., Belanov, I., 2011. Granulometric composition of embryozems in technogenic landscapes of the forest-steppe zone of Kuzbass. *Siberian Journal of Ecology*. (5), pp. 713–718. (in Russian).
 6. Dvurechenskij, V., 2010. *Ispol'zovaniye pokazateley gruppovogo sostava zheleza dlya geneticheskoy diagnostiki protsessov pochvoobrazovaniya v embriozemakh tekhnogennykh landshaftov Kuzbassa* [The use of indicators of the group composition of iron for genetic diagnostics of soil formation processes in embryozems of technogenic landscapes of Kuzbass]. *Soil Science and Agrochemistry*. (2), pp. 12–22. (in Russian).
 7. Dvurechenskij, V., 2011. *Geografo-geneticheskaya kharakteristika form zheleza v embriozemakh Kuzbassa* [Geographic and genetic characteristics of iron forms in embryozems of Kuzbass]: *Author's abstract. ... dis. cand. biol. sciences: 03.02.13*. Novosibirsk. 19 p. (in Russian).
 8. Dvurechenskij, V., Seredina, V., 2017. *Pochvenno-ekologicheskoye sostoyaniye i puti vosstanovleniya tekhnogennykh ekosistem lesostepnogo poyasa Kuznetskoy kotloviny* [Soil-ecological state and ways of restoration of technogenic ecosystems of the forest-steppe belt of the Kuznetsk depression]. *Safety of life*. (12), pp. 47–52. (in Russian).
 9. Dokuchaev, V., 1951. *Ucheniye o zonakh prirody i klassifikatsiya pochv* [The doctrine of natural zones and soil classification. Works]. (VI). M.L: AN USSR. 375 p. (in Russian).
 10. Kandrashin, E., 1988. *Suktsessii bioty v tekhnogennykh ekosistemakh (na primere Kuznetskogo ugol'nogo basseyna)* [Biota succession in technogenic ecosystems (on the example of the Kuznetsk coal basin)]: *Author's abstract. ... dis. cand. biol. sciences: 03.02.13*. Novosibirsk. 18 p. (in Russian).
 11. Klevenskaya, I., 1989. Micro-vegetative associations of technogenic ecosystems. *8 All-Union Congress of Soil Scientists*, Novosibirsk. (6), pp. 122–128. (in Russian).
 12. Klenov, B., 2000. *Ustoychivost' gumusa avtomorfnykh pochv Zapadnoy Sibiri* [Stability of humus in automorphic soils of Western Siberia]. Novosibirsk: Publishing house of SB RAS. 176 p. (in Russian).
 13. Kulyapina, E., Kurachev, V., 2004. *Specificity of the accumulation of organic components in soils of technogenic landscapes*. *Siberian Journal of Ecology*. (3), pp. 345–353. (in Russian).
 14. Makhonina, G., Chibrik, T., 1974. *Agrokhimicheskaya i geobotanicheskaya kharakteristika gidrootvalov Chelyabinskogo ugol'nogo basseyna* [Agrochemical and geobotanical characteristics of the hydro dumps of the Chelyabinsk coal basin]. *Plant and industrial environment*. Sverdlovsk: Publishing house Ural University, pp. 127–137. (in Russian).
 15. Mironycheva-Tokareva, N., 1998. *Dinamika rastitel'nosti pri zarastanii otvalov (na primere KATEKa)* [Dynamics of vegetation during overgrowing of dumps (on the example of KATEK)]. Novosibirsk: Science. 172 p. (in Russian).
 16. Motorina, L., Izhevskaya, T., 1980. *Osnovnyye napravleniya indikatsii suksessiy v tekhnogennykh landshaftakh* [Main directions of indication of successions in technogenic landscapes]. *Influence of human activity on natural ecosystems*. M., pp. 143–152. (in Russian).
 17. Ovsiyannikova, S., Seredina, V., 2014. *Regional'nyy monitoring pochv Kuznetskogo ugol'nogo basseyna po nakopleniyu podvizhnykh form tyazhelykh metallov* [Regional monitoring of soils of the Kuznetsk coal basin on the accumulation of mobile forms of heavy metals]. *Bulletin of KrasGAU*. (11), pp. 100–105. (in Russian).
 18. Polokhin, O., 2008. *Transformatsiya litogennykh form fosfatov pri pochvoobrazovanii v tekhnogennykh landshaftakh (na primere KATEKa)* [Transformation of lithogenic forms of phosphates during soil formation in technogenic landscapes (by the example of KATEK)]: *Author's abstract. ... dis. cand. biol. sciences: 03.02.13*. Novosibirsk. 18 p. (in Russian).
 19. Seredina, V., Alekseeva, T. and Sysoeva, L., 2012. Study of the processes of organic matter formation in disturbed soils during coal mining. *Tomsk State University Journal of Biology*. (1), pp. 18–31. (in Russian).
 20. Sokolov, D., 2012. Specificity of Determination of Organic Substances of Pedogenic Nature in Soils of Technogenic Landscapes of Kuzbass. *Tomsk State University Journal of Biology*. (2), pp. 17–25. (in Russian).
 21. Trofimov, S., Taranov, S., 1987. Peculiarities of soil formation in technogenic ecosystems. *Soil science*. (11), pp. 95–99. (in Russian).
 22. Fatkulin, F., 1998. *Organicheskoye veshchestvo molodykh pochv tekhnogennykh ekosistem Kuzbassa* [Organic matter of young soils of technogenic ecosystems of Kuzbass]: *Author's abstract. ... dis. cand. biol. sciences: 03.02.13*. Novosibirsk. 17 p. (in Russian).
 23. Chibrik, T., 1979. *Formirovaniye rastiyet'nykh soobshchestv v protsesse samozarastaniya na otvalakh ugol'nykh mestorozhdeniy Urala* [Formation of plant communities in the process of self-overgrowing on the dumps of coal deposits in the Urals]. *Plants and industrial environment*. Sverdlovsk, pp. 23–59. (in Russian).

24. Shishov L., Tonkonogov V. and Lebedeva I., 2004. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* [Classification and diagnostics of soils in Russia]. Smolensk: Oykumena Publ. 2004. 342 p. (in Russian).
25. Arguile, R., 1971. *Reclamation five industrial sites in the east midlans*. J. Inst. Munic. Eng. (6). 98 p.
26. Beaver, S., 1960. *Land reclamation*. The Chartered Surveyor. (12). 92 p.
27. Gossen, R, Hardisty, P. et al., 1997. Site Remediation Technology Advances. *15th World Petroleum Congress*. China, Beijing, 17 Okt., Preprint of the 15th WPC, 10 p.
28. Knabe, W., 1959. *Zur Wiederurbarmachung im Braunkohlenbergbau*. Berlin. 306 p. (In German).
29. Lindsay, W., 1979. *Chemical equilibria in soils*. N.Y.: Wiley. 449 p.
30. Prach, K., 1987. *Succession of Veccession on Dumps from Strip Coal Mining N.W. Bogemia. Czechoslovakia. Folia geobotanica et phytotaxonomica*. (22), pp. 339–354.
31. Smith, H., Morse, H., Bernath, G., Gillogli, L. and Brigs, W., 1964. *Classification of strip-mined spoil bamks*. *The Ohio Journal of Science*. (2), pp. 168–175.
32. Stevenson, F., 1982. *Humus chemistry: Genesis, composition, reaction*. N.Y.: John Wilcy&Sons. 443 p.
33. Tate III, P., 1991. *Soil Organic Matter Biological and Ecological Effects*. N.Y.: John Wiley & Sons. 399 p.
34. Werner, K., 1966. *Probleme der Wiedernutzbar-machung von Braunkohlenkippen fur landwirt-schafiliche Zwercke*. Hall. 123 p. (In German).

Статья поступила в редакцию 10.01.2022; одобрена после рецензирования 04.02.2022; принята к публикации 11.02.2022.

The article was submitted 10.01.2022; approved after reviewing 04.02.2022; accepted for publication 11.02.2022.