

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2024-121-152-199



Ссылки для цитирования:

Рахлеева А.А., Михеев П.В., Замотаев И.В., Грачева Р.Г., Конопляникова Ю.В., Белоновская Е.А., Карелин Д.В. Сообщества беспозвоночных и микроорганизмов в почвах полей фильтрации Льговского сахарного завода (Курская область) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. Вып. 121. С. 152-199. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-121-152-199

Cite this article as:

Rakhleeva A.A., Mikheev P.V., Zamotaev I.V., Gracheva R.G., Konoplyanikova J.V., Belonovskaya E.A., Karelin D.V., Communities of invertebrates and microorganisms in the soils of filtration fields of the Lgov sugar factory (Kursk region), Dokuchaev Soil Bulletin, 2024, V. 121, pp. 152-199, DOI: 10.19047/0136-1694-2024-121-152-199

Благодарность:

Полевые работы выполнены при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-0502 5мк. Морфологические и аналитические исследования почв полей фильтрации сахарной промышленности проводились в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMWS-2024-0010 “Почвы и углеродный цикл природных и антропогенных экосистем в экстремальных и оптимальных условиях прошлого и настоящего, изучаемые с использованием передовых технологий”.

Acknowledgments:

The field work was carried out with financial support of the RFBR project No. 19-29-0502 5mk. Morphological and analytical studies of soils of sugar industry filtration fields were carried out within the framework of the theme of the State Assignment of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences FMWS-2024-0010 “Soils and carbon cycle of natural and anthropogenic ecosystems under extreme and optimal conditions of the past and present, studied using advanced technologies”.

Сообщества беспозвоночных и микроорганизмов в почвах полей фильтрации Льговского сахарного завода (Курская область)

© 2024 г. А. А. Рахлеева^{1*}, П. В. Михеев^{2**},
И. В. Замотаев^{3***}, Р. Г. Грачева^{3****},
Ю. В. Конопляникова^{3*****}, Е. А. Белоновская^{3*****},
Д. В. Карелин^{3*****}

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия,
119991, Москва, Ленинские горы, 1, стр. 12,
*<https://orcid.org/0000-0002-2200-493X>, e-mail: a.rakhleeva@gmail.com.

²ФБУН “ФНЦГ им. Ф. Ф. Эрисмана” Роспотребнадзора, Россия,
141014, г. Мытищи, ул. Семашко, д. 2,
**<https://orcid.org/0000-0002-3376-0677>, e-mail: pvm-fscq@yandex.ru.

³Институт географии РАН, Россия,
119017, Москва, Старомонетный пер., д. 29,
***<https://orcid.org/0000-0003-4587-4070>, e-mail: zivi gran@rambler.ru,
****<https://orcid.org/0000-0001-9042-5632>, e-mail: gracheva@igras.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0002-0062-9154>,
e-mail: konopliyanikova@igras.ru,

*****<https://orcid.org/0000-0002-8354-4606>, e-mail: belena@igras.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0001-5778-3163>, e-mail: karelin@igras.ru.

Поступила в редакцию 24.04.2024, после доработки 07.05.2024,
принята к публикации 14.11.2024

Резюме: Изучены особенности состава макро- и микробиоты в почвах, сформированных в условиях очистных сооружений (полей фильтрации) сахарной промышленности в черноземной зоне России. Значительное влияние на сообщества микроорганизмов и беспозвоночных оказывают влажность почв, обилие и разнообразие органических и минеральных веществ, поступающих на очистные сооружения со сточными водами. Макрофауна почв периодически действующих прудов-отстойников (карт) представлена преимущественно хищниками и фитофагами; в карте, выведенной из эксплуатации 45 лет назад, преобладают сапрофаги, в составе которых доминируют дождевые черви. Все группы макрофауны в почвах полей фильтрации характерны для почв лесостепных регионов, при этом их численность существенно ниже, по сравнению с черноземами под дубравами Центрально-Черноземного заповедника, но заметно выше, чем в окружающих пахотных черноземах. Микрофлора в почвах полей фильтрации и естественном черноземе Курской биосферной станции идентична по составу физиологических групп, но различается по их количеству и распределению по профилю, что связано с разным водным режимом, определяемым частотой и длительностью воздействия сточных вод, и поступлением отходов

сахарного производства, обогащенных карбонатом кальция, органическим веществом и биофильными элементами.

Ключевые слова: отходы свеклосахарного производства; карты полей фильтрации; макрофауна; микрофлора; Technosols; Cambisols; Chernozems.

Communities of invertebrates and microorganisms in the soils of filtration fields of the Lgov sugar factory (Kursk region)

© 2024 A. A. Rakhleeva^{1*}, P. V. Mikheev^{2**}, I. V. Zamotaev^{3***},
R. G. Gracheva^{3****}, J. V. Konoplyanikova^{3*****},
E. A. Belonovskaya^{3*****}, D. V. Karelin^{3*****}

¹Lomonosov Moscow State University,
12, 1 Leninskie Gori, Moscow 119234, Russian Federation,
*<https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>, e-mail: a_bcdefg@mail.ru.

²Federal State Budgetary Institution "F.F. Erisman FNTSG" of
Rospotrebnadzor,
2 Semashko Str., Mytishchi 141014, Russian Federation,
**<https://orcid.org/0000-0002-3376-0677>, e-mail: pvm-fscg@yandex.ru.

³Institute of Geography Russian Academy of Sciences,
29 Staromonetnyi lane, Moscow 119017, Russian Federation,
***<https://orcid.org/0000-0003-4587-4070>, e-mail: zivi gran@rambler.ru,
****<https://orcid.org/0000-0001-9042-5632>, e-mail: gracheva@igras.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0002-0062-9154>,
e-mail: konopliyanikova@igras.ru,

*****<https://orcid.org/0000-0002-8354-4606>, e-mail: belena@igras.ru,
*****<https://orcid.org/0000-0001-5778-3163>, e-mail: karelin@igras.ru.

Received 24.04.2024, Revised 07.05.2024, Accepted 14.11.2024

Abstract: The composition of macro- and microbiota in soils formed in treatment facilities (filtration fields) of the sugar industry in the Chernozem zone of Russia was studied. Soil moisture and the abundance and diversity of organic and mineral substances entering treated plants with wastewater have a significant impact on communities of microorganisms and invertebrates. The macrofauna of the soils of periodically operating settling ponds (called checks, or carts) consists mainly of predators and phytophages; the soil of the checks that was decommissioned 45 years ago consists of saprophages, which were dominated by earthworms. All groups of macrofauna in the soils of filtration

fields are characteristic of the soils of forest-steppe regions, while their numbers are significantly lower compared to the Chernozems under the oak groves of the Central Chernozem Reserve, but noticeably higher than in the surrounding arable Chernozems. The microflora in the soils of the filtration fields and the background Haplic Chernozem (Pachic) is identical in the composition of physiological groups, but differs in their number and distribution along the soil profile. Differences in the diversity and distribution of microorganisms in the studied soils depend on different water regimes, determined by the frequency and duration of exposure to wastewater and the input of sugar production waste enriched with calcium carbonate, organic matter and biophilic elements.

Keywords: beet sugar production waste; checks of filtration fields; macrofauna; microflora; Technosols; Cambisols; Chernozems.

ВВЕДЕНИЕ

Поля фильтрации (в дальнейшем ПФ), используемые для естественной биологической очистки сточных вод сахарных заводов, состоят из карт (выемок) с межсекционными насыпными валами, включающими различные технические элементы. ПФ действующего Львовского сахарного завода (площадь 175 га) расположены на водораздельной поверхности рек Бык и Опока, сложенной четвертичными отложениями. Карты действуют в режиме периодического заполнения сточными водами и осушения. Отдельные карты могут забрасываться, когда объем производства недостаточен для заполнения всей площади ПФ.

Ранее проведенные исследования (Замотаев и др., 2022, 2023; Карелин и др., 2023) показали, что в искусственно созданных картах, окруженных насыпными валами (их высота 1.5–4 м, ширина до 3 м), создается особый комплекс условий, отличный от окружающего фона (Мониторинг..., 2021). К таким особым условиям карт относятся: а) более мощный и продолжительный снежный покров, что обуславливает более высокую температуру почвы в зимний период; б) пониженная температура (на 1.7 °С, в среднем) и повышенная влажность ($27.8 > 18.8\%$ (фон) в слое почвы 0–10 см, тест Манна–Уитни, $p < 0.05$) в вегетационный период, с апреля по август; в) более высокая температура воздуха и почвы в осенний период, с сентября по октябрь; г) периодическое обводнение используемых карт с дополнительным поступлением со

сточными водами в смеси с дефекатом и транспортерно-моечным осадком биогенных и других веществ, применяемых в свеклосахарном производстве (органические соединения, карбонаты, фосфаты, питательные элементы, технологические вспомогательные средства и др.); д) доминирование гидрофильных и гидрофильных растительных сообществ, не характерных для фоновых лесостепных ландшафтов; е) почвообразующими породами на ПФ являются высохшие осадки сточных вод многокомпонентного состава и карбонатные лессовидные суглинки и/или нижние горизонты черноземных почв, трансформированные техногенными стоками. Все это формирует в картах ПФ особые условия существования сообществ почвенных беспозвоночных и микроорганизмов, не характерные для региональных природных местообитаний.

Беспозвоночные и микроорганизмы, достигая в почвах высоких значений численности и биомассы, особенно в верхних горизонтах, существенно влияют на трансформацию органического вещества и минерального компонента, переорганизацию почвенной массы, а также регулируют циклы биогенных элементов (Гилляров, Кривоуцкий, 1985; Микроорганизмы..., 1989; Всеволодова-Перель, 1997; Мордкович, 1991, 2013; Андрусевич и др., 2014; Кутовая и др., 2016; Мордкович, Любечанский, 2020; Рахлеева, 2022; Lavelle et al., 2016; Bayon et al., 2017; Coggan et al., 2018). Для ряда групп почвообитающих животных Черноземья списки видов и сведения об их экологии требуют дальнейшего изучения (Щеглов и др., 2006; Снегин, Артемчук, 2018; Мордкович, Любечанский, 2020; Кутовая и др., 2021). Информация по микроорганизмам в черноземной зоне в основном относится к сравнению структуры и численности сообществ в почвах разных типов и подтипов, оценке влияния на них локального переувлажнения (Козеев и др., 2006), различных видов землепользования, севооборотов, приемов обработки и удобрений (залежь, пашня, многолетние полевые опыты, применение технологии no-till), изучению состояния микробиоты при загрязнении почв нефтью (Возняковская и др., 1996; Пухова и др., 2011; Железова и др., 2017; Кутовая и др., 2021; Никитин и др., 2020; Минникова и др., 2023). Известны некоторые биологические параметры субстратов ПФ и агропочв при внесении в них отходов свеклосахарного производства в чистом

виде или в сочетании с удобрениями (Иванов, 2004; Пузанова, 2009; Коноплина, 2011; Балабко и др., 2014; Гурин, Гнеушева, 2018). Вместе с тем практически отсутствуют исследования состояния комплексов микроорганизмов и беспозвоночных животных, населяющих почвы территорий, вовлеченных в свеклосахарное производство.

Цель исследования – изучение особенностей состава биоты в почвах на ПФ сахарной промышленности в черноземной зоне.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для исследований были выбраны почвы ПФ Льговского сахарного завода (Курская область) и, для сравнения, агропочва прилегающей территории. Морфологическое описание почвенных разрезов проведено с использованием цветowych таблиц Манселла. Твердость почв определяли с помощью пенетрометра, плотность – бура конструкции Качинского. В лабораторных условиях проводились мезоморфологические исследования с использованием оптического микроскопа Leica MZ6 (рабочие увеличения – $\times 6$ – $\times 80$).

Почвенные анализы выполнены в химической лаборатории Института географии РАН. Гранулометрический состав определяли пирофосфатным методом, $\text{pH}_{\text{водн}}$ – потенциометрическим, количество карбонатов – методом алкалиметрического титрования (Аринушкина, 1970; Вадюнина, Корчагина, 1986; Воробьева, 1998).

Содержание углерода и азота измеряли методом сухого сжигания на анализаторе в Центре коллективного пользования (ЦКП) “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” ИГ РАН.

Количественный учет макрофауны (макрофауна – принятое размерное деление по международной классификации, мезофауна 2–30 мм – по отечественной размерной классификации, введенной М.С. Гиляровым) проводился на трех пробных участках в сентябре 2022 г.: в днищах действующей карты, освободившейся от воздействия сточных вод 2 года назад, и карты, заброшенной 45 лет назад (разрезы LG-01-22 и LG-05-20 соответственно), а также на пашне под озимой пшеницей, сопредельной с ПФ (разрез LG-04-22; условный агрофон).

Для количественных учетов макрофауны использовался метод ручной разборки проб по Гилярову (Методы почвенно-зоологических исследований, 1975). На каждом пробном участке в трехкратной повторности отбирались почвенные монолиты площадью 25 см², на глубину 0–10, 10–20, 20–30 см, а также подстилка при наличии. Были получены значения численности и биомассы макрофауны с пересчетом на 1 м². Определение состава почвенной макрофауны проводилось до уровня семейств для кольчатых червей и жесткокрылых. Для остальных представителей – до уровня классов и отрядов. Для большинства таксонов был определен их трофический статус: хищники, фитофаги, сапрофаги.

Муравьи в анализе не учитывались. Для этой социальной группы беспозвоночных существуют иные методы количественных учетов. Пустые раковинки гастропод в расчеты численности и биомассы не включались, однако их присутствие отмечалось в общей интерпретации результатов.

На каждом пробном участке был определен доминантный комплекс макрофауны (таксономические группы, чья численность составляла 5% и более от общей численности на участке).

Для сравнительного анализа состава комплексов макрофауны рассчитывался коэффициент Жаккара:

$$K_{\text{ж}} = C / (A + B - C) * 100\%,$$

где А – число таксонов на одном пробном участке, В – число таксонов на втором пробном участке, С – число общих для двух участков таксонов.

Необходимо учитывать, что пробы были отобраны во время периода сильного иссушения почв. Лето 2022 г. выдалось жаркое, особенно июль и август. Этот фактор мог повлиять на количественные показатели макрофауны, которая в такие периоды проявляет меньшую активность.

Общее сравнение полученных результатов проводилось с опубликованными для Центрально-Черноземного заповедника имени АLEXИНА данными по комплексам макрофауны (Злотин, Ходашова, 1974: цит. по Мордкович, Любечанский, 2020), а также с данными, полученными для почв зонального ряда Русской рав-

нины (Гиляров, Чернов, 1975; Мордкович, Любечанский, 2020).

Отбор проб для микробиологических исследований проводился по генетическим горизонтам (р. LG-01-22 и LG-05-20). Биологическую активность образцов почв исследовали методами посевов на селективные среды. Общее микробное число (ОМЧ) подсчитывали на чашках Петри при посеве разведений почвенной суспензии на ГРМ-агаре (ОМЧ1 – потенциально патогенные бактерии, обладающие высокой скоростью роста, выросшие за 24 часа в термостате при 37 °С), а также при инкубации в течение 3 суток при 22 °С на разбавленном в 10 раз ГРМ-агаре (ОМЧ2 – сапрофитные бактерии, т. е. господствующая группа, существующая в почве в отсутствие свежих питательных веществ). Актиномицеты выявляли на крахмало-аммиачном агаре, плесневые грибы – на среде Чапека, число спор аэробных бактерий – на ГРМ-агаре после прогрева почвенной суспензии на водяной бане в течение 15 минут при температуре 75 °С. Полученные результаты сравнивали с опубликованными ранее для ненарушенных черноземов Курской биосферной станции (Mikheev et al., 2021).

Видовой состав бактерий наиболее распространенных видов, растущих в виде колоний на поверхности агара с почвенной вытяжкой, определяли с использованием масс-спектрометрии (MALDI-TOF MS), являющейся одной из самых последних систем идентификации микроорганизмов, для получения “отпечатков пальцев интактных бактериальных клеток” (Баранцевич, Баранцевич, 2014; Holland et al., 1996; Giebel et al., 2010).

Классификационное положение почв определено в формате новой классификации и диагностики почв России (2004) и Полевого определителя почв России (2008), с дополнениями по классификационной разработке (Прокофьева и др., 2014), а также по международной классификации WRB (IUSS Working Group WRB, 2015). Следует отметить, что при описании почв ПФ использован малый индекс “zoo”, не выделяемый в новой классификации почв России, для обозначения многочисленных и разнообразных признаков биогенной проработки материала в профиле.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Морфологические свойства почв. Ниже приведены основные морфологические особенности почв и их отличительные черты, связанные со свеклосахарным производством (рис. 1).

В днище карты, которая последний раз заливалась сточными водами в 2020 г., под эхиноцистисом дольчатым (*Echinocystis labata*) (“бешеный огурец”) описана темногумусовая техногенная арти-стратифицированная почва на абраземе аккумулятивно-карбонатном. Разрез LG-01-22 (51°36.827' N, 35°15.363' E), формула профиля: Oca-AUdc-AU-TCH1ca,rr-TCH2ca,rr-TCH3lc,rr-[BCAmc]-[BCmc]. Согласно WRB (2015), почву можно отнести к Technosol Alcalic Chernic Calcaric.

I O1ca – 2–0 см – сухие растительные остатки, преимущественно фрагменты тростника; примесь минерального известкового материала, бурно вскипающего от HCl.

I O2ca – 0–5 см – 10YR 2/2, сухая рыхлая рассыпающаяся механическая смесь растительных остатков, семян и мелкозернистого черного минерального материала. Бурно вскипает от HCl.

I AUdc,h – 5–10 см – 10YR 2/1, сухой рыхлый, черный, полностью оструктурен, мелко-среднезернистый, суглинистый, липкий. Обилие мелких корешков, частично мертвых. Переход резкий, граница ровная. Бурно вскипает от HCl.

II Стехн AU-TCH1ca,rr (дефекат) – 10(20)–30 см – 10YR 5/2 – 4/2, неоднородно окрашен: на буровато-сером фоне темно-серые гумусированные пятна, разводы; уплотнен, легкосуглинистый, четко ореховатый. Плотный, сильно пористый, в порах черное органическое вещество, часто копрогенное; обилие тонких корешков. Переход резкий, граница ровная. Бурно вскипает от HCl.

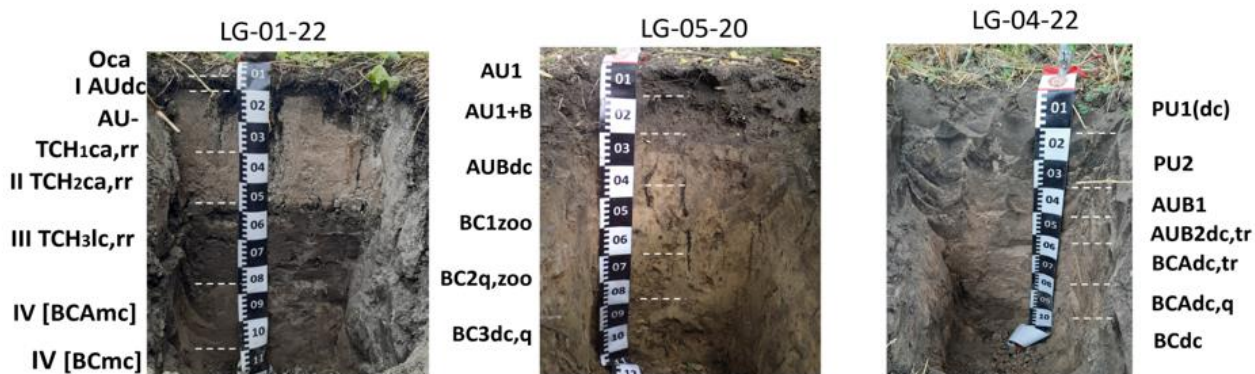


Рис. 1. Профили почв, сформированных в днищах карт полей фильтрации (LG-01-22, LG-05-20) и прилегающей пашни (LG-04-22).

Fig. 1. Profiles of soils formed at the bottoms of settling ponds (checks) of filtration fields (LG-01-22, LG-05-20) and adjacent arable land (LG-04-22).

II TCH2ca,rr (дефекат) – 30–50 см – 10 YR 5/2, сухой светло-серый однородный по составу и цвету, плотный, сильно пористый, поры крупные (1–3–5 мм), поры и трещины заполнены черным органическим веществом; единичные тонкие сухие корни. Распадается на четкие ореховатые отдельности. Бурно вскипает от HCl. Переход резкий по цвету, граница ровная.

III TCH3lc,rr (органический транспортерно-мочный осадок) – 50–75 см – 7.5 YR 2.5/1, темно-серый с коричневатостью, однородный по цвету, уплотнен, вязкий, липкий, ореховатый, легкосуглинистый, единичные белые точечные карбонатные выцветы (~1 мм), желтоватые карбонатные стяжения (1–5 мм). Переход резкий, граница ровная. Локально слабо кипит от HCl.

IV [BCAmc] – 75(85)–100 см – 10 YR 4/2 + 10 YR 3/1, буровато-серый, участками покрашен гумусом, плотный, хорошо оструктурен, ореховатый, легкосуглинистый, слегка опесчанен, белые карбонатные пятна, прожилки, трубочки (псевдомицелий). Переход постепенный. Бурно вскипает от HCl.

IV [BCmc] – 100–120 см – 10 YR 5/2, светлее предыдущего, серовато-бурый, очень плотный, ореховатый, легкосуглинистый; обилие псевдомицелия. Бурно вскипает от HCl.

В днище карты, заброшенной 45 лет назад, очищенной от осадков сточных вод, под разреженным покровом клена американского исследована темнугумусовая почва на абраземе аккумулятивно-карбонатном, разрез LG-05-20 (51°36.902' N, 35°14.913' E), формула профиля: AU1-AU1+B-AUBdc-BC1-BC2q-[BCA3dc,q](WRB: Histic Gleyic Eutric Cambisol (Loamic)).

О фрагментарный – сухой, сохранившие строение ветки и листья.

AU1 – 0–10 см – 10 YR 2/1, сухой, рыхлый, темно-серый, почти черный, зернистый и мелко-, среднекомковатый. Преимущественно копрогенный, суглинистый, пылеватый, липкий. Пронизан тонкими и средними корнями. Переход постепенный, граница ровная. Не кипит от HCl.

AU1+B – 10–20(25) см – свежий, уплотнен. Механическая

смесь темно-серого материала (A1) 10 YR 2/2 и серовато-желтовато-бурого материала горизонта В. Темно-серый материал полностью оструктурен, зернисто-мелкокомковатый с присутствием мелкоореховатых отдельностей. Суглинистый, липкий. Желтовато-сери-бурые участки: покрашены точечно гумусом, сильнопористые, много тонких и средних корней, много червороин, переход заметный, граница неровная. Локально сильно вскипает от HCl (на бурых участках).

AUBdc – 20(25)–35(40) см – свежий, плотный. На общем желтовато-буром фоне 10 YR 6/4 размытые и четкие пятна диаметром 3–5 см серого цвета 10 YR 5/3. Преимущественно оструктурен. Крупноореховатый (глыбистый). На правой стенке на 20–25 см прослой черного материала, структура горизонтальной ориентации – грубые плитки/ призмы. Корней мало, мелких и средних. Переход заметный по цвету, граница неровная. Слабо вскипает, локально.

BC1_{zoo} – 35(40)–60 см – увлажнен, плотный, на желто-буром фоне 10 YR 6/4 темно-серая пятнистость 10 YR 5/3 диаметром 0.5–1 см (червороины). Вертикальные ходы-трубки (трещины) (начинаются с 25 см – идут до нижней части профиля) заполнены темно-серым гумусированным материалом, с копролитами. Диаметр 1.5 см. Крупноореховато-глыбистый, пористый, обилие копролитов в ходах корней и червороинах. Единичные точечные железистые скопления. Переход заметный, по уменьшению корневых ходов и червороин, граница ровная. Локально, слабо вскипает.

BC2_{q,zoo} – 60–80 см – 10 YR 5/4-6/4, свежий, плотный, желтовато-бурый суглинок, пронизан трещинами (трубками), заполненными копролитами и гумусово-глинистым материалом, пятна червороин диаметром до 1 см, корни средние, единично. Полностью оструктурен, структура крупноореховато-призматическая, четкая. Сильнопористый. Обилие железистых скоплений в “волосных” трещинах. Единичные железистые пятна на поверхности педов. Переход постепенный, граница ровная. Не кипит от HCl.

BC3_{dc,q} / [BCAdc,q] –80–100 см – 10 YR 6/4–6/6, свежий, плотный, желтовато-светло-бурый суглинок (более однородно окрашен), круглые червороины, ходы тонких корней. Структура призматическая и глыбистая, крупная. Суглинисто-пылеватый, пористый. Поры и тонкие ходы корней сильно ожелезнены. Бурно кипит от HCl. Видимых новообразований карбонатов нет.

В пределах пашни, расположенной по периферии очистных сооружений, описан агрочернозем дисперсно-карбонатный квазиглееватый, разрез LG-04-22 (51°36.903' N; 035°14.864' E) формула профиля: PU1(dc)-PU2-AUB1-AUB2dc,tr-BCAdc,tr-BCAdc,q-BCdc. Согласно WRB (2015), почва отвечает определению Chernozem Loamic Aric Turbic.

PU1(dc) – 0–10 см – 10 YR 3/1-2/1, коричневато-темно-серый, свежий, плотный, мелкозернисто-комковатый с глыбистыми агрегатами, частично бесструктурный, суглинистый; много тонких корней. Переход постепенный по цвету и пористости. Слабо вскипает от HCl.

PU2 – 10–28(30) см – 10 YR 2/1, черный свежий плотный зернисто-мелкокомковатый копрогенный суглинистый, тонкие корни, переход ясный граница волнистая. Не вскипает от HCl. Подплужная подошва.

AUB1 – 30–40 см – 10 YR 3/2, свежий буровато-темно-серый пятнистый, на темно-сером фоне бурые пятна 5–10 мм, уплотнен, биотурбированный, ореховато-комковатый копрогенный, тонкие корни, переход ясный, граница ровная. Локально вскипает от HCl (бурые участки).

AUB2dc,tr – 40–50 см – 10 YR 4/3/+3/2, сухой, на желтовато-буром фоне темно-серые гумусированные участки, крупная кротовина (12 см) темно-серая с черными пятнами копролитов. Комковато-ореховатый, нечеткая структура, рассыпается при взятии, суглинистый. На правой стенке четкая кротовина 5–6 см светло-бурая с черными пятнами копролитов. В порах черный органический материал. Тонкие корни. Переход постепенный. Не вскипает от HCl.

BCAdc, tr – 50–70 см – 10 YR 4/3–10 YR 3/2, пятнистый желто-бурый, на буром фоне светло-желтые пятна 1–3 см, темно-серые округлые пятна 0.5–10 см; уплотнен, нечетко оструктурен, ореховатый, переход постепенный. Локально вскипает от HCl

BCAdc, q – 70–90 см – 10 YR 4/3–10 YR 5/3, сухой, пестрый, на светло-буром фоне множество мелких ржавых пятен, уплотнен, распадается на призмовидные и ореховатые отдельности, непрочные (рассыпаются при взятии), пористый, в порах железистые трубочки, железистые стяжения и пятна на поверхности педов, на стенках трещин гумусовые кутаны и пропитки. Переход постепенный. Бурно вскипает от HCl.

BCdc – 90–100 см – 10 YR 6/4–10 YR 5/3, сухой серовато-бурый с серыми гумусовыми пятнами; скопления рыхлого гумусированного материала по расширениям трещин, мелкокомковатый преимущественно копрогенный, рассыпчатый; обилие тонких корешков. Бурно вскипает от HCl.

Физические, физико-химические и химические свойства почв. Темногумусовая техногенная арти-стратифицированная почва (LG-01-22), сформированная на остаточном материале абра-дированных исходных почв, имеет щелочную реакцию ($pH = 7.5\text{--}8.5$) и высокое содержание карбонатов во всех горизонтах, диагностируемое по бурному вскипанию мелкозема от HCl. В органо-генном (O_2ca), состоящем из механической смеси растительных остатков, семян и мелкозернистого черного минерального материала, и темногумусовом ($AUdc, h$) горизонтах с обилием слабо-разложившегося органического вещества, содержание C_{org} 23.95% и 17.91% соответственно (табл. 1). Почва сильно обогащена азотом во всех горизонтах ($C : N = 10\text{--}13$).

Таблица 1. Некоторые химические и физико-химические свойства почв карт полей фильтрации, выведенных из эксплуатации в разное время

Table 1. Some chemical and physicochemical properties of soils in filtration field checks decommissioned at different times

Горизонт	Глубина образца, см	pH _{вод}	C _{орг} , %	C/N	CaCO ₃ , %, вскипание от HCl
<i>Темнозёмусовая зоотурбированная почва. Разрез LG-05-20. Заброшенная 45 лет назад очищенная карта</i>					
AU1	0–10	8.03	3.32	12	1.23
AU1+B	10–20(25)	8.16	1.75	14	1.55
AUBdc	20(25)– 35(40)	8.33	1.15	11	0.39
BC1	35(40)–60	8.18	0.67	11	0.27
BC2 _q	60–80	8.07	0.50	9	0.45
BC3 _{dc,q}	80–100	8.31	0.53	42	10.37

Продолжение таблицы 1
Table 1 continued

Горизонт	Глубина образца, см	pH _{вод}	C _{орг} , %	C/N	CaCO ₃ , %, вскипание от HCl
<i>Темнозёмовая техногенная анти-стратифицированная почва. Разрез LG-01-22. Карта последний раз использовалась (затоплялась сточными водами) 2 года назад</i>					
O2ca	0–5	Не опр.	23.95	10.77	Бурно вскипает
AUdc,h	5–10	7.54	17.91	10.23	Бурно вскипает
AU-TCH1ca,rr	10–30	8.50	5.86	12.36	Бурно вскипает
TCH2ca,rr	30–50	8.50	5.14	11.92	Бурно вскипает
TCH3lc,rr	50–75	8.34	2.49	13.75	Бурно вскипает
[BCAmc]	75–100	8.45	1.39	12.40	Бурно вскипает
[BCmc]	100–120	8.35	0.98	11.37	Бурно вскипает

Периодический привнос на поверхность карт со сточными водами твердофазного материала дефеката и транспортерно-моечного осадка приводит к дифференциации гранулометрического состава почв. Поверхностные горизонты имеют среднесуглинистый иловато-крупнопылеватый состав. Горизонт II ТСН2са,г на глубине 30–50 см характеризуется более тяжелым гранулометрическим составом (табл. 2). Наблюдающееся здесь повышение содержания физической глины подтверждается максимальным значением плотности на этой глубине – 0.96 г/см^3 по сравнению с рыхлым верхним темногумусовым горизонтом (0.57 г/см^3).

При сливе вод и обсыхании днища появляющийся растительный покров и почвенная макрофауна фрагментируют, диспергируют известковый (дефекатный) материал, смешивая его с органическим веществом сточных вод. При мезоморфологическом описании разреза обнаружено, что в горизонтах, сложенных дефекатом и транспортерно-моечным осадком, многочисленны ходы макрофауны, заполненные органическим веществом; встречаются копролиты различного размера (рис. 2).

Для темногумусовой зоотурбированной почвы характерна щелочная реакция ($\text{pH} = 8.0\text{--}8.3$) по всему профилю (табл. 1). В профиле почвы хорошо выражена дифференциация по содержанию карбонатов. В верхних гумусово-аккумулятивных и срединных горизонтах почвы количество карбонатов незначительно ($0.27\text{--}1.55\%$, слабокарбонатные, локально слабо вскипают); в нижнем, содержащем мицелярные формы карбонатов, на глубине 80–100 см содержание карбонатов достигает 10.37% , что позволяет отнести горизонт к сильнокарбонатным (бурно вскипает). Содержание органического вещества максимально в поверхностных горизонтах ($C_{\text{орг}} = 3.32\%$) и постепенно убывает с глубиной, оставаясь достаточно высоким в срединных горизонтах за счет активных биотурбационных процессов. При микроморфологических исследованиях обнаружены ходы макрофауны (червороины) и корней с перемещением почвенной массы, копролиты различного размера, морфологии и степени сохранности. Соотношение $\text{C} : \text{N}$ в гумусовых и срединных горизонтах колеблется от 9 до 14, а в нижнем горизонте составляет 42.

Таблица 2. Гранулометрический состав почв карт полей фильтрации, выведенных из эксплуатации в разное время

Table 2. Soil particle-size distribution in the checks of infiltration fields decommissioned at different times

Горизонт	Глубина образца, см	Содержание фракций (%), размер частиц, мм						
		1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005– 0.001	<0.001	<0.01
Темногумусовая зоотурбированная почва. Разрез LG-05-20. Заброшенная 45 лет назад очищенная карта								
AU1	0–10	0.18	0.49	56.3	7.31	9.7	26.02	43.03
AU1+B	10–20(25)	0.12	0.36	56.74	8.73	8.6	25.45	42.78
AUBdc	20(25)–35(40)	0.11	0.87	58.89	7.97	7.39	24.77	40.13
BC1	35(40)–60	0.03	1.5	61.05	6.24	7.92	23.26	37.42
BC2 _q	60–80	0.09	0.26	59.3	8.78	7.11	24.46	40.35
[BCAdc,q]	80–100	0.18	0.5	57.11	8.15	9.22	24.84	42.21
Темногумусовая техногенная арти-стратифицированная почва. Разрез LG-01-22. Карта последний раз использовалась 2 года назад								
AUdc,h	5–10	3.07	17.89	36.76	9.79	13.52	18.97	42.28
AU-TCH1ca,rr	10–30	0.25	8.62	34.21	28.21	16.41	12.31	56.93
TCH2ca,rr	30–50	0.21	9.82	29.21	22.62	23.72	14.41	60.76



Рис. 2. Биогенная проработка дефеката в горизонте AU-TCH1ca,rr на глубине 10–30 см (LG-01-22).

Fig. 2. Biogenic transformation of the sewage sludge in the AU-TSN1ca,rr horizon at a depth of 10–30 cm (LG-01-22).

Для темногоумусовой зоотурбированной почвы характерен по всему профилю среднесуглинистый гранулометрический состав (табл. 2). Отмечено некоторое понижение содержания физической глины (37.42%) на глубине 35(40)–60 см. В мелкоземе темногоумусовой почвы, как и в других ранее исследованных почвах днищ карт ПФ (Замотаев и др., 2023) преобладающими являются фракции крупной пыли (0.05–0.01 мм) и илистой фракции (<0.001 мм).

Подробная аналитическая характеристика агрочерноземов Львовского района, к которым относится и описанный разрез LG-04-22, приведена в предыдущих публикациях (Замотаев и др., 2001, 2016, 2018). Почвы характеризуются тяжелым гранулометрическим составом, отсутствием дифференциации по илу и признаков иллювиирования глины. Содержание гумуса в агротемногумусовом гор. PU колеблется от 3.9 до 5.7%. Близкая к нейтральной реакция среды наблюдается в большей части профиля до глубины с максимумом карбонатов, где она резко меняется на щелочную.

Верхняя часть горизонта PU агрочернозема дисперсно-карбонатного (LG-04-22), как показали морфологические исследования, мелкозернисто-комковатая с глыбистыми агрегатами, плотная (плотность 1.3 г/см³, твердость 27–30 мм). В нижних горизонтах ВСА проявляются признаки сегрегации железа: в порах железистые трубочки, стяжения и пятна на поверхности педов. На стенках трещин наблюдаются гумусовые кутаны и бурно вскипающие карбонатные пропитки. Все эти признаки вполне типичны для ранее описанных в литературе агрочерноземов Курской области (Афанасьева, 1966; Щеглов, 1999; Караваева, Денисенко, 2009; Базыкина, Овечкин, 2012; Мамонтов и др., 2020; Булышева и др., 2021; Белобров и др., 2023).

Макрофауна в почвах карт полей фильтрации. Почвенная макрофауна формируется представителями различных функциональных групп, являющимися индикаторами адаптации организмов к конкретным экологическим условиям.

Состав макрофауны. В исследованных почвах карт ПФ Львовского сахарного завода, а также прилегающей к ним пашни обнаружена разнообразная почвенная макрофауна. В целом на

момент отбора проб выявлено 19 таксонов (табл. 3). Все таксоны характерны для естественных черноземных почв лесостепной зоны (Злотин, Ходашова, 1974: по Мордкович, Любечанский, 2020). Обнаружены кольчатые черви (люмбрициды и энхитреиды), пауки, сенокосцы, улитки – гастроподы, многоножки (хилоподы и диплоподы), личинки чешуекрылых, перепончатокрылых, скорпионниц, имаго и личинки жесткокрылых (жужелицы, стафилиниды, шелкуны, долгоносики), личинки двукрылых. Это – представители из 8 классов и 16 отрядов. На момент отбора проб ни на одном из исследованных участков не найдены пластинчатоусые жуки и жуки-чернотелки, характерные для лесостепной зоны. Однако делать выводы об их полном отсутствии нельзя, и эти группы, возможно, будут обнаружены при последующих учетах макрофауны в другие периоды времени в связи с циклами развития и условиями окружающей среды.

По числу таксонов исследуемые почвы карт ПФ, выведенные из использования в разное время, близки между собой. В них установлено по 12 таксонов макрофауны. Однако сходство между участками по таксонам составляет не более 43% по коэффициенту Жаккара. Общие для участков ПФ – это дождевые черви, пауки, мокрицы, диплоподы, улитки-гастроподы, жужелицы, стафилиниды, личинки двукрылых. В темногомусовой техногенной артистратифицированной почве карты ПФ (LG-01-22), которая последний раз использовалась 2 года назад, обнаружены личинки чешуекрылых и скорпионниц. В темногомусовой зоотурбированной почве в заброшенной 45 лет назад карте (LG-05-20) – энхитреиды, хилоподы, сенокосцы, жуки-долгоносики.

Для обоих участков характерно большое количество улиток (*Gastropoda*). Однако в почве карты, которая затапливалась сточными водами 2 года назад, это живые особи, а на давно выведенной из эксплуатации – пустые раковинки. Улитки-гастроподы активно развиваются поздней осенью и в весенний период, что связано с разложением растительного опада и увлажнением почвы. Их пустые раковинки обычно обнаруживаются в конце летнего периода в верхнем горизонте почвы.

Таблица 3. Состав, численность, биомасса и тип питания почвенной макрофауны исследованных участков
Table 3. Composition, abundance, biomass and type of feeding of soil macrofauna in the studied areas

Состав макрофауны	LG-01-22	LG-05-20	LG-04-22	Тип питания
Класс Sedentaria, отряд Nematoda				
Семейство:				
Lumbricidae (<i>дождевые черви</i>)	3.0	18.0	2.7	сапрофаг
Lumbricidae(p) (<i>коконы дождевых червей</i>)	0.7	0.3	-	сапрофаг
Семейство:				
Enchytraeidae (<i>энхитреиды</i>)	-	4.0	2.0	сапрофаг
Класс Arachnida, отряд Araneae (<i>пауки</i>)	1.7	2.3	-	хищник
Класс Arachnida, отряд Opiliones (<i>сенокосцы</i>)		1.0	-	хищник
Класс Gastropoda (<i>улитки-гастроподы</i>)	11.7	+	-	фитофаг
Класс Malacostraca, отряд Isopoda, подотряд Oniscoidea (<i>ракообразные – мокрицы</i>)	1.7	0.3	-	сапрофаг
Класс Chilopoda, отряд Geophilomorpha, семейство Geophilidae (<i>многоножки – геофилиды</i>)	-	2.3	0.3	хищник
Класс Diplopoda (<i>многоножки – диплоподы</i>)	0.7	1.7	-	сапрофаг
Класс Insecta:				
Отряд Lepidoptera (I) (<i>чешуекрылые</i>)	0.7	-	-	фитофаг
Отряд Mecoptera (I) (<i>скорпионницы</i>)	0.3	-	-	хищник
Отряд Hymenoptera (I) (<i>перепончатокрылые</i>)	-	-	0.3	

Продолжение таблицы 3

Table 3 continued

Состав макрофауны	LG-01-22	LG-05-20	LG-04-22	Тип питания
Отряд Coleoptera, семейство Carabidae (i) (<i>жуки жужелицы имаго</i>)	3.3	0.3	0.3	хищник
Carabidae (l) (<i>жуки жужелицы личинки</i>)	0.7	0.3	-	хищник
Отряд Coleoptera, семейство Staphylinidae (i) (<i>жуки стафилиниды имаго</i>)	9.3	0.7	0.3	хищник
Staphylinidae (l) (<i>жуки стафилиниды личинки</i>)	0.3	-	-	хищник
Отряд Coleoptera, семейство Elateridae (i) (<i>жуки щелкуны имаго</i>)	-	-	0.7	фитофаг
Elateridae (l) (<i>жуки щелкуны личинки</i>)	-	-	1.0	фитофаг
Отряд Coleoptera, семейство Curculionidae (l) (<i>жуки долгоносики личинки</i>)	-	1.3	-	фитофаг
Отряд Coleoptera (i)* (<i>жесткокрылые имаго</i>)	0.7	-	-	
Отряд Coleoptera (i)** (<i>жесткокрылые имаго</i>)	-	0.7	-	
Отряд Coleoptera (p) (<i>жесткокрылые куколки</i>)	0.3	-	-	
Отряд Diptera (l) (<i>двукрылые личинки</i>)	-	2.0	1.0	
Отряд Diptera (p) (<i>двукрылые пупарий</i>)	0.3	-	0.3	
Численность, экз./м²	565 ± 400	565 ± 70	144 ± 73	
Биомасса, г/м²	26.6 ± 21.4	42.6 ± 14.08	9.3 ± 7.68	

Обращает внимание отсутствие хищных многоножек – хилопод (семейство геофилиды), в темnogумусовой техногенной ар-ти-стратифицированной почве. Эта группа беспозвоночных типична для верхних минеральных горизонтов почв лесостепной зоны. Ее отсутствие может свидетельствовать о влиянии физико-химических параметров, в первую очередь, присутствии не типичных для природных почв химических соединений, поступающих со сточными водами.

В агрочерноземе дисперсно-карбонатном число таксонов снижено до 8 (табл. 3). Здесь отсутствуют пауки, сенокосцы, улитки, мокрицы, диплоподы, личинки чешуекрылых, скорпионниц и жуков-долгоносиков. Общее сходство по составу макрофауны с почвами карт ПФ не более 25% по расчетам коэффициента Жаккара.

Численность макрофауны оказалась сходной в почвах на ПФ – 565 экз./м², что в несколько раз превышает численность в агрочерноземе на участке пашни, где обнаружено только 144 экз./м². Все полученные значения численности ниже показателей, характерных для естественных черноземных почв под лесными формациями Центрально-Черноземного заповедника (рис. 3), где численность может достигать 3 300 экз./м². В то же время они сопоставимы со степным нативным участком заповедника, численность почвенной макрофауны для которого составляет 484 экз./м².

Однако если исключить из анализа численность энхитреид – кольчатых малощетинковых червей (рис. 4), сборы которых методом ручной разборки могут быть неполноценными из-за малых размеров беспозвоночных, неприметной окраски (существуют отдельные методики учетов именно энхитреид), то полученные результаты по почвам ПФ становятся даже выше известных для Центрально-Черноземного заповедника. Численность макрофауны агрочернозема и в таком случае в несколько раз ниже известных данных (Мордкович, Любечанский, 2020).

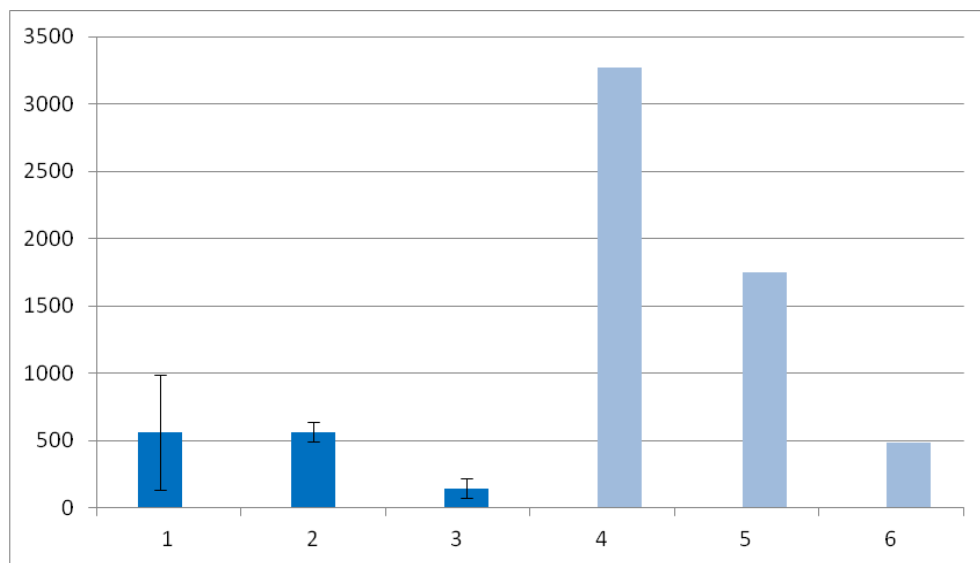


Рис. 3. Численность почвенной макрофауны (экз./м²). Пробные участки: 1 – LG-01-22, 2 – LG-05-20, 3 – LG-04-22, 4 – дубрава, 5 – лесные луга на полянах, 6 – нативная луговая степь. Участки 4, 5, 6 – Центрально-Черноземный заповедник (Злотин, Ходашова, 1974, по Мордкович, Любечанский, 2020).

Fig. 3. Number of soil macrofauna (individuals/m²). Test plots: 1 – LG-01-22, 2 – LG-05-20, 3 – LG-04-22, 4 – oak grove, 5 – forest meadows, 6 – native meadow steppe. Plots 4, 5, 6 – Central Chernozem Reserve (Zlotin, Khodashova, 1974, after Mordkovich, Lyubechansky, 2020).

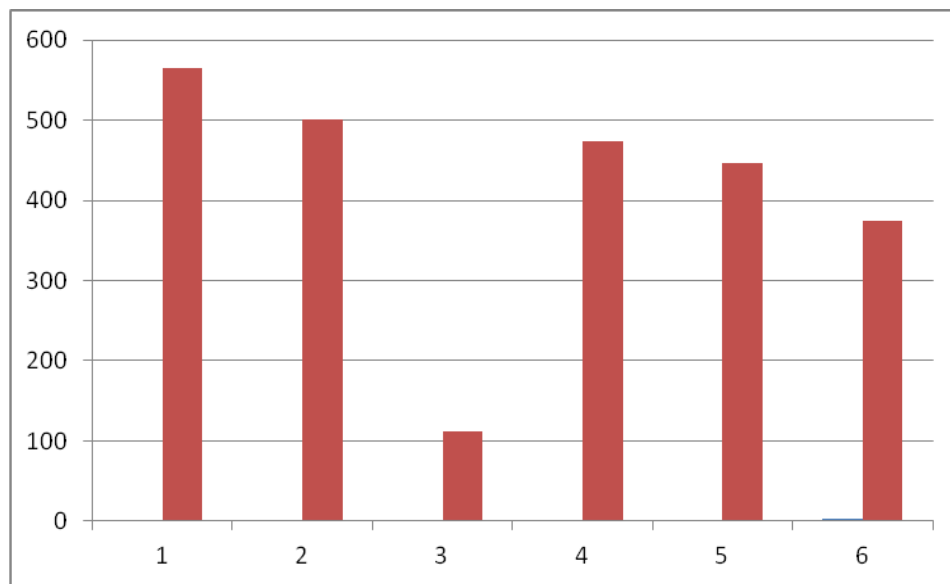


Рис. 4. Численность почвенной макрофауны без учета энхитреид (экз./м²). Пробные участки: 1 – LG-01-22, 2 – LG-05-20, 3 – LG-04-22, 4 – дубрава, 5 – лесные луга на полянах, 6 – нативная луговая степь. Участки 4, 5, 6 – Центрально-Черноземный заповедник (Злотин, Ходашова, 1974; по Мордкович, Любечанский, 2020).

Fig. 4. Number of soil macrofauna excluding enchytraeids (individuals/m²). Test plots: 1 – LG-01-22, 2 – LG-05-20, 3 – LG-04-22, 4 – oak grove, 5 – forest meadows, 6 – native meadow steppe. Plots 4, 5, 6 – Central Chernozem Reserve (Zlotin, Khodashova, 1974; after Mordkovich, Lyubechansky, 2020).

Доминантные комплексы. Анализ доминантных комплексов показал (табл. 4), что, при сходных значениях численности макрофауны почв карт ПФ, набор доминирующих групп, чья численность составляет от 5% и выше от общей на участке, значительно различается. В почвах обеих карт ПФ на момент отбора проб многочисленны дождевые черви и пауки, причем в темногомусовой зоотурбированной почве на заброшенной карте обилие дождевых червей составляет более 50% от общей численности макрофауны на участке. Только в темногомусовой техногенной арти-стратифицированной почве в состав доминантного комплекса входят улитки, мокрицы, жуки жужелицы и стафилиниды. Тогда как в темногомусовой зоотурбированной почве обильное количество составляют многоножки хилоподы семейства геофилид, диплоподы, энхитреиды и личинки двукрылых. Набор доминантов в почвах давно неиспользуемой (заброшенной) карты ПФ ближе к агрочерноземам. На этих участках установлены три группы беспозвоночных с высокой численностью – дождевые черви, энхитреиды и личинки двукрылых. При этом на долю дождевых червей в агрочерноземе пашни и в темногомусовой почве заброшенной карты приходится более 30% от общей численности макрофауны. Кроме того, в агрочерноземе в составе доминантного почвенного комплекса присутствуют жуки щелкуны – типичные обитатели агроценозов; в почвах карт ПФ жуки щелкуны не были обнаружены ни в личиночной стадии, ни в стадии имаго.

Трофическая структура. Если сопоставить обнаруженные на исследуемых участках доминантные комплексы макрофауны с характером питания беспозвоночных (трофические предпочтения), то обнаруживаются следующие особенности. В темногомусовой техногенной арти-стратифицированной почве (LG-01-22) в составе комплекса макрофауны преобладают хищники – 40% и фитофаги – 33% (суммарно более 70%). Сапрофаги составляют только 10%. В темногомусовой зоотурбированной почве (LG-05-20) на заброшенной 45 лет назад карте сапрофаги составляют уже 72% (из которых 51% приходится на дождевых червей), доля хищников снижается до 17%, а количество фитофагов не превышает 3%. Это оказывает большое влияние на реорганизацию почвенной массы и трансформацию органического вещества, спо-

собствуя процессам гумификации, что подтверждается морфоаналитическими исследованиями и дополняет имеющиеся в литературе материалы.

Таблица 4. Доминантный комплекс макрофауны исследованных участков

Table 4. Dominant macrofauna complex in the studied areas

Состав макрофауны	LG-01-22	LG-05-20	LG-04-22
Lumbricidae	8	51	30
Aranea	5	7	н. о.
Gastropoda	33	н. о.	н. о.
Oniscoidea	5	1	н. о.
Carabidae (i)	9	1	4
Staphylinidae (i)	26	2	4
Geophilidae	н. о.	7	4
Diplopoda	2	5	н. о.
Diptera (l)	н. о.	6	11
Enchytraeidae	н. о.	11	22
Elateridae (i)	н. о.	н. о.	7
Elateridae (l)	н. о.	н. о.	11

Примечание. н. о. – не обнаружены.

Note. н. о. – not found.

В агропочве более 52% численности составляют сапрофаги (прежде всего дождевые черви, а также энхитреиды) и фитофаги – 18%. На долю хищников приходится около 12%, что значительно ниже доли хищников в почвах карт.

Биомасса. По обнаруженным значениям биомассы макрофауны участки карт ПФ в 3–5 раз превышают биомассу на участке пашни и составляют от 20 до 40 грамм на м² (рис. 5). Основной вклад в этот показатель на всех участках вносит биомасса дождевых червей. Биомасса макрофауны карт ПФ сопоставима с биомассой макрофауны в черноземе под луговой степью (Гиляров, Чернов, 1975), однако в 2–3 раза ниже, чем для серых лесных почв и черноземов под дубравами.

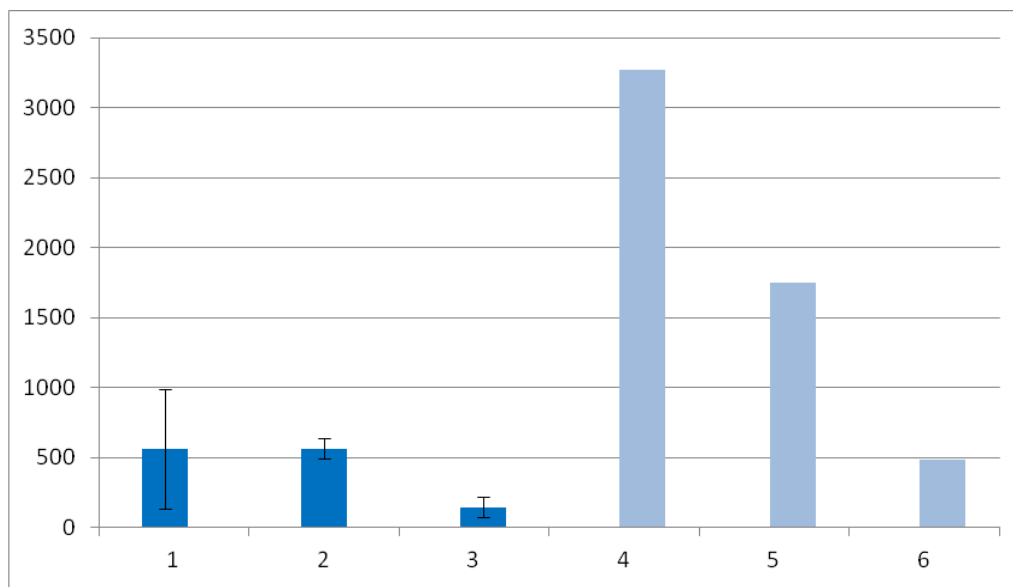


Рис. 5. Биомасса почвенной макрофауны (г/м^2). Пробные участки: 1 – LG-01-22, 2 – LG-05-20, 3 – LG-04-22, 4 – дубрава на серой лесной почве, 5 – дубрава на черноземе, 6 – луговая степь на черноземе (участки 4, 5, 6 – Гиляров, Чернов, 1975, по Мордкивич, Любечанский, 2020).

Fig. 5. Biomass of soil macrofauna (g/m^2). Test plots: 1 – LG-01-22, 2 – LG-05-20, 3 – LG-04-22, 4 – oak grove on gray forest soil, 5 – oak grove on chernozem, 6 – meadow steppe on chernozem (plots 4, 5, 6 – Gilyarov, Chernov, 1975, after Mordkovich, Lyubechansky, 2020).

Микроорганизмы в почвах. В результате микробиологических исследований почв днищ карт выяснилось нетипичное распределение бактерий по профилю по сравнению с фоновыми черноземами Курской биосферной станции (Mikheev et al., 2021). В поверхностных горизонтах – органогенном и темногумусовом (0–10 см) – техногенной арти-стратифицированной почвы в карте, не используемой в течение 2 лет (LG-01-22) и покрытой в момент описания эхиноцистисом дольчатым (*Echinocystis labata*), установлены близкие высокие величины численности бактерий, обладающих двумя типами стратегий: быстрорастущие сапрофитные и олиготрофные (способные расти в почве с низким содержанием органических веществ) (рис. 6). Вниз по профилю их численность постепенно снижается, и с глубины 30 см (гор. ТСН3Ic,rr) начинают преобладать не требовательные к элементам питания олиготрофные бактерии. В органогенном горизонте, состоящем из сухих растительных остатков, преимущественно фрагментов тростника обыкновенного с примесью карбонатного мелкозема, выявлено большое количество споровых форм. Как отмечалось, образцы, взятые для исследования, были отобраны в начале сентября, и возможной причиной увеличения численности споровых форм явилось летнее иссушение верхнего слоя.

Плесневые грибы – микромицеты обнаружены лишь до глубины 30 см от поверхности (рис. 7), что может быть связано как с водным режимом – большим увлажнением нижних горизонтов, так и с локализацией на поверхности почвы опада тростника обыкновенного. Особенностью изученного профиля является максимальная численность актиномицетов в погребенном трансформированном сточными водами абраземе аккумулятивно-карбонатном на глубине 55–100 см. Здесь они, по-видимому, включаются в трансформацию органического вещества погребенного горизонта естественной почвы (рис. 1), уже подвергшегося деструкции в период эксплуатации карты. Как известно, такое распределение не типично для природных почв, в которых вниз по профилю происходит значительное уменьшение количества микроорганизмов.

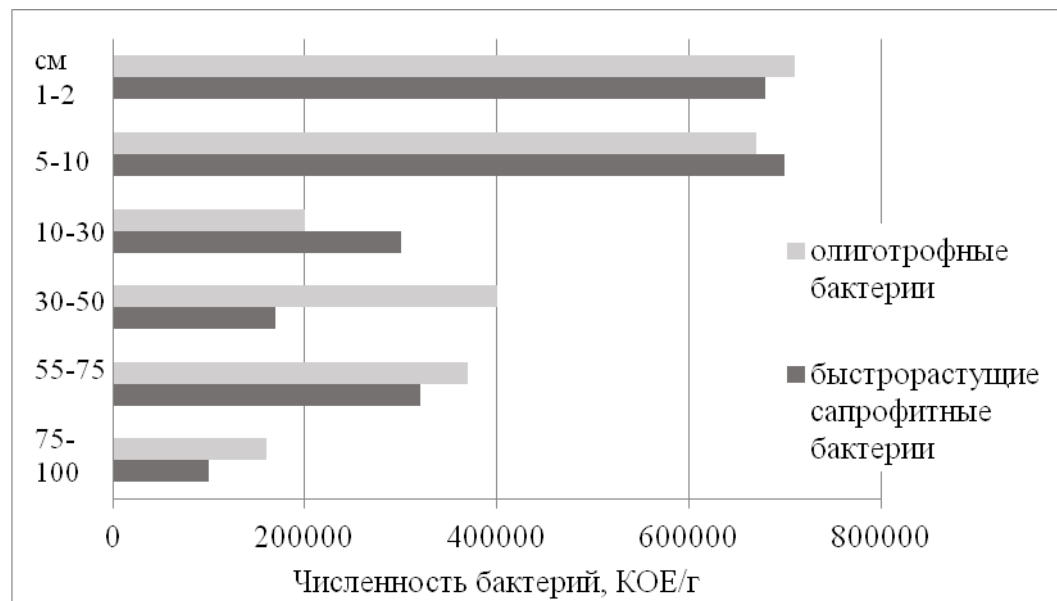


Рис. 6. Численность бактерий в темномумусовой техногенной арти-стратифицированной почве (LG-01-22).

Fig. 6. Number of bacteria in dark humus technogenic artistratified soil (LG-01-22).

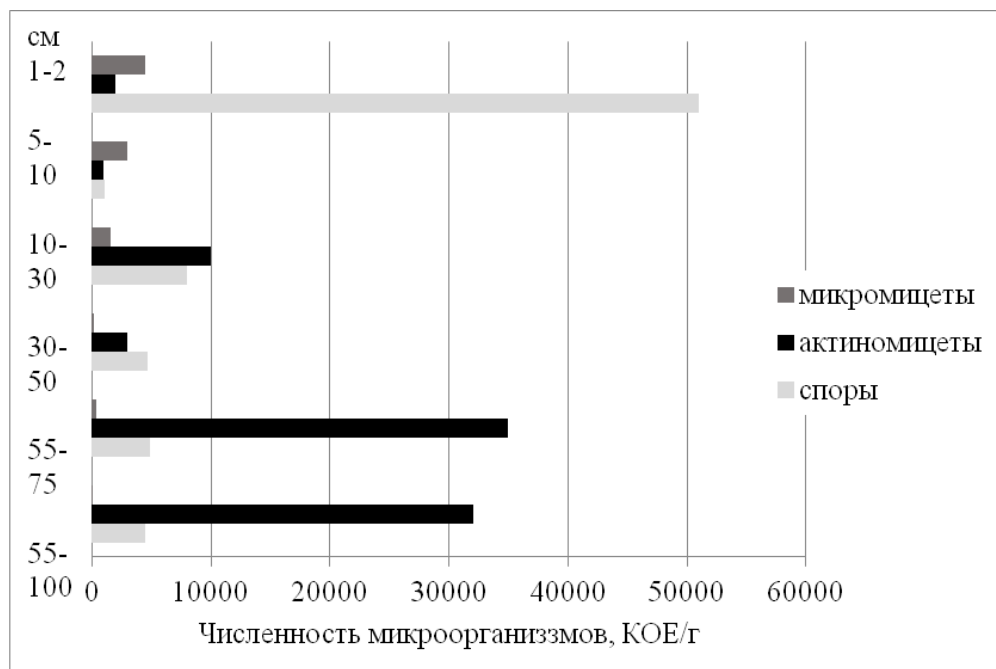


Рис. 7. Численность спор аэробных бактерий, актиномицетов и плесневых грибов в техногенной артистратифицированной почве (LG-01-22).

Fig. 7. Number of spores of aerobic bacteria, actinomycetes and mold fungi in technogenic artistratified soil (LG-01-22).

Использование метода MALDI-TOF MS позволило идентифицировать в почве *Bacillus marisflavi*, *Pseudomonas putida* и *Oceanobacillus kimchii*. Присутствовали непатогенные стафилококки в количестве 8×10^2 КОЕ/г, непатогенные псевдомонады (*Pseudomonas libanensis*, *Pseudomonas synxantha*), представители семейства энтеробактерий (*Buttiauxella agrestis*, *Serratia liquefaciens*), а также *Aeromonas eucrenophila* и энтерококки в количестве 5.0×10^2 КОЕ/г.

Изучение распределения численности бактерий по горизонтам профиля (LG-05-20) темногумусовой почвы карты ПФ, которая последний раз заливалась производственными сточными водами 45 лет назад, показало преобладание олиготрофов в верхнем темногумусовом горизонте (рис. 8).

В темногумусовом горизонте обнаружены олиготрофы и споровые формы бактерий (рис. 8, 9), что свидетельствует о не вполне благоприятных условиях для развития микроорганизмов. В переходных подгумусовых горизонтах (AUB) преобладают быстрорастущие сапрофитные бактерии (рис. 8), что связано с высоким содержанием на глубине 10–40 см легко разлагаемого (доступного) органического вещества ($C_{\text{орг}} = 1.75\%$). Во всех горизонтах присутствуют плесневые грибы, которые, являясь основными деструкторами сложных органических соединений (лигнин, хитин, дубильные вещества, целлюлоза), делают возможным дальнейшее их использование другими микроорганизмами. Обращает внимание высокая численность актиномицетов во всех горизонтах профиля (рис. 9), что не характерно для природных почв. В верхней части они разрушают растительный опад, а на глубине 30–40 см, по-видимому, выступают деструкторами труднодоступных полимеров в составе органических веществ, поступивших в почву со сточными водами и дефекатом во время использования карты.

Среди видов бактерий присутствовали *Stenotrophomonas maltophilia*, *Achromobacter xylosoxidans*, *Achromobacter piechaudii*, *Pseudomonas putida*, *Acinetobacter calcoaceticus*. На глубине 30–40 см определены *Serratia liquefaciens*, *Buttiauxella* sp., *Leclercia adecarboxylata*. Идентифицированы непатогенные стафилококки, их численность составила до 10^3 КОЕ/г.

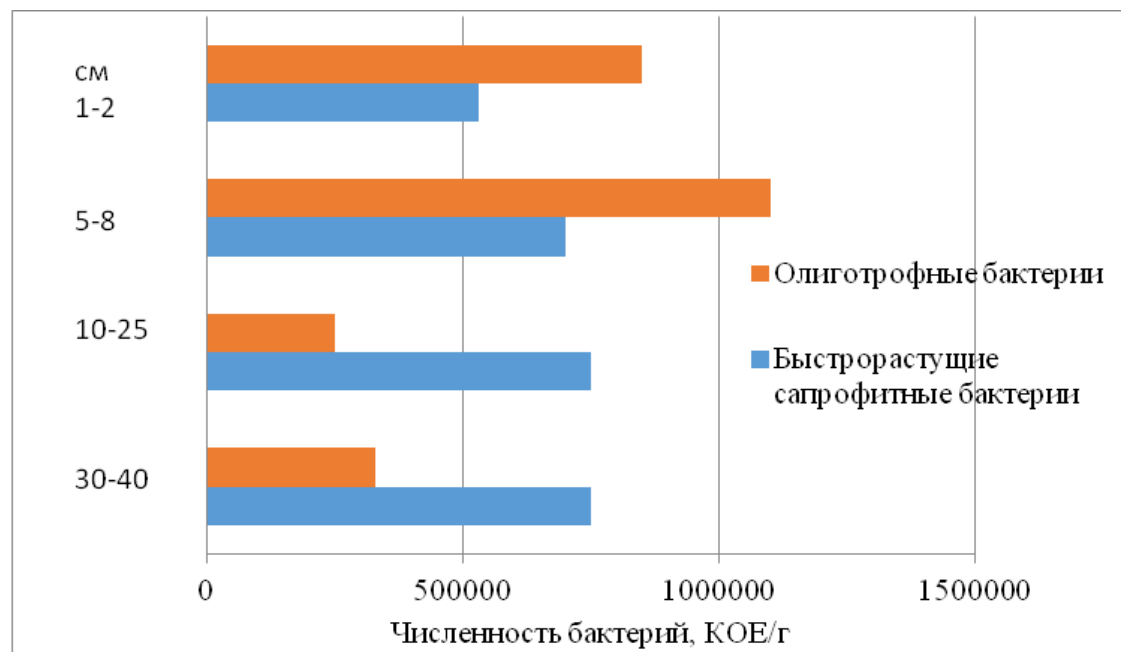


Рис. 8. Численность бактерий в различных горизонтах темногумусовой почвы (LG 05-20).

Fig. 8. Number of bacteria in different horizons of dark humus soil (LG 05-20).

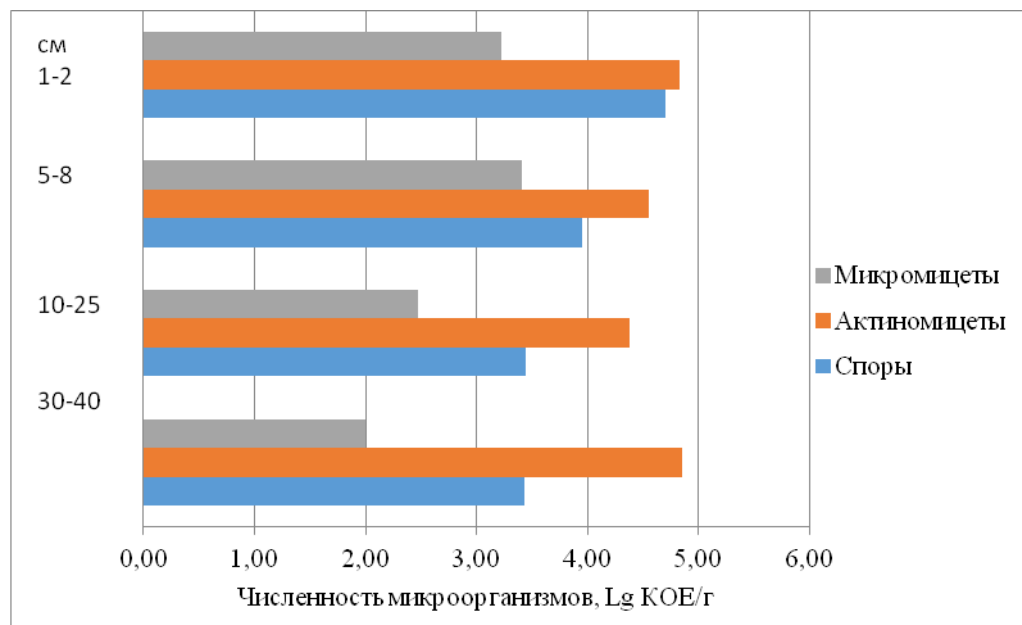


Рис. 9. Численность спор аэробных бактерий, актиномицетов и плесневых грибов в темногомусовой зоотурбированной почве (LG 05-20).

Fig. 9. Number of spores of aerobic bacteria, actinomycetes and mold fungi in dark humus zooturbated soil (LG 05-20).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвы ПФ формируются в специфических природно-техногенных условиях и по своим биологическим свойствам отличаются от природных почв. Значительное влияние на микробиологические сообщества и макрофауну оказывают влажность почв, а также обилие и разнообразие органических и минеральных веществ, поступающих на ПФ со сточными водами.

Все группы макрофауны в почвах ПФ характерны для черноземных почв лесостепных регионов. Однако полученные значения существенно ниже численности макрофауны черноземных почв под дубравами Центрально-Черноземного заповедника, но сопоставимы с биомассой беспозвоночных в черноземе под луговой степью. Этот показатель в значительной степени определяется количеством энхитреид, учет которых в дальнейшем из-за их малых размеров следует продолжить, с использованием специальной методики.

Биомасса макрофауны в техногенной арти-стратифицированной почве периодически действующей карты в 1.5 раза ниже, чем в темногумусовой зоотурбированной почве неиспользуемой карты. Несмотря на схожесть по набору таксонов (43%), у изученных почв ПФ есть ряд принципиальных различий. В почве карты, последний раз заливаемой 2 года назад, в составе комплекса макрофауны преобладают хищники и фитофаги (более 70%) при незначительном количестве сапрофагов. По нашему мнению, в основном это связано с поступлением техногенных стоков, обогащенных органическими веществами и биофильными элементами, что формирует особые условия существования почвенной биоты, не характерные для региональных природных местообитаний. Напротив, в почве давно неиспользуемой карты (45 лет) значительно выше численность сапрофагов (72%), среди них 51% приходится на дождевых червей. О результате активной деятельности последних свидетельствуют многочисленные и разнообразные признаки биогенной проработки материала в профиле на всех морфологических уровнях: разложение опада, биогенное оструктурирование, зоотурбации с формированием червороин, обилие копролитов различного размера, зоогенный перенос материала меж-

ду горизонтами.

Микрофлора в почвах ПФ и естественных черноземах миграционно-мицелярных Курской биосферной станции идентичны по составу физиологических групп, но различаются по их количеству и распределению в профиле. Особенностью техногенной анти-стратифицированной почвы периодически заливаемой карты является отсутствие плесневых грибов в нижней части профиля, что может быть связано как с водным режимом – большим увлажнением нижних горизонтов, так и с локализацией на поверхности почвы опада тростника обыкновенного. Напротив, во всех горизонтах темногумусовой зоотурбированной почвы в карте, заброшенной 45 лет назад, обнаружены плесневые грибы. Кроме того, здесь наблюдается высокая численность актиномицетов, которые являются деструкторами органических веществ, поступивших в почву со сточными водами и дефекатом еще в период использования карты.

Для сравнения, судя по данным, в окружающих ПФ агро-черноземах дисперсно-карбонатных численность, биомасса и число таксонов беспозвоночных значительно меньше, что связано с неблагоприятными физическими свойствами пахотных почв (глыбистость, высокая плотность, сегрегация железа). Имеющиеся публикации по составу макрофауны в осваиваемых по традиционной технологии черноземах и почвах других типов подтверждают данную закономерность (Tsiafouli et al., 2015; Булгакова, 2017).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Афанасьева Е.А.* Черноземы Средне-Русской возвышенности. М.: Наука, 1966. 227 с.
2. *Андрусевич Е.В., Жуков А.В., Кунах О.Н.* Экоморфическая организация сообществ мезопедобионтов как основа зоологической диагностики антропогенных почв // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. № 1126. Серія: біологія. Вип. 22. 2014. С. 86–97.
3. *Аринюшкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
4. *Базыкина Г.С., Овечкин С.В.* Миграционно-мицелярные черноземы Курской области в климатических и биосферных циклах // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2012. Вып. 70. С. 3–17.

DOI: [10.19047/0136-1694-2012-70-3-18](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2012-70-3-18).

5. Балабко П.Н., Хуснетдинова Т.И., Карпова Д.В., Славянский А.А. Влияние отходов свеклосахарного производства на плодородие дерново-подзолистой почвы при выращивании картофеля // Агрохимический вестник. 2014. № 6. С. 22–25.
6. Баранцевич Е.П., Баранцевич Н.Е. Применение MALDI-TOF масс-спектрометрии в клинической микробиологии // Трансляционная медицина. 2014. № 6. С. 23–28.
7. Белобров В.П., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., Айдиев А.Я. Структура почвенного покрова и трансформация морфометрических параметров типичных черноземов в технологии прямого посева // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 115. С. 5–31. DOI: [10.19047/0136-1694-2023-115-5-31](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-115-5-31).
8. Булгакова М.А. Состав и численность дождевых червей как косвенный показатель физических свойств почв степных агроценозов Предуралья // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 2. С. 227.
9. Булышева А.М., Хохлова О.С., Бакунович Н.О., Русаков А.В., Мякишина Т.Н. Изменение свойств почв залежного ряда Курской области и тренды восстановления постагрогенных почв лесостепной и степной зон // Почвоведение. 2021. № 8. С. 983–998.
10. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
11. Возняковская Ю.М., Курдюков Ю.Ф., Попова Ж.П., Лощинина Л.П. Оценка биологического состояния чернозема под различными севооборотами // Почвоведение. 1996. № 9. С. 1107–1111.
12. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
13. Всеволодова-Перель Т.С. Дождевые черви фауны России. Кадастр и определитель. М.: Наука, 1997. 102 с.
14. Гиляров М.С., Чернов Ю.И. Почвенные беспозвоночные в составе сообществ умеренного пояса // Ресурсы биосферы. Л.: Наука. 1975. Т. 1. С. 218–240.
15. Гиляров М.С., Кривошук Д.А. Жизнь в почве. М.: Мол. гвардия, 1985. 191 с.
16. Гурин А.Г., Гнеушева В.В. Изменение агрохимических свойств почвы и ее биологической активности при использовании отходов сахарного производства на посевах яровой пшеницы // Вестник аграрной науки. 2018. № 1(70). С. 3–7.
17. Железова А.Д., Тхакахова А.К., Ярославцева Н.В., Гарбуз С.А., Лазарев В.И., Козут Б.М., Кутковая О.В., Холодов В.А.

Микробиологические показатели агрегатов типичных черноземов в многолетних полевых опытах // Почвоведение. 2017. № 6. С. 711–717.

18. *Замотаев И.В., Белобров В.П.* Эколого-генетические проблемы землепользования на Среднерусской возвышенности (на примере Льговского района Курской области) // Идеи В.В. Докучаева и современные проблемы сельской местности. Ч. 1. Москва–Смоленск, 2001. С. 18–24.

19. *Замотаев И.В., Белобров В.П., Курбатова А.Н., Белоброва Д.В.* Агрогенная и постагрогенная трансформация почв Льговского района Курской области // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. Вып. 85. С. 97–114. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-85-97-114](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-97-114).

20. *Замотаев И.В., Белобров В.П., Юдин С.А., Белоброва Д.В.* Оценка почвенных свойств при мониторинге земель на регионально-локальном уровне // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. 2018. Т. 42. № 2. С. 172–180.

21. *Замотаев И.В., Грачева Р.Г., Конопляникова Ю.В., Долгих А.В., Карелин Д.В., Белоновская Е.А., Добрянский А.С., Михеев П.В.* Почвообразование на отходах сахарной промышленности в Центральном Черноземье // Почвоведение. 2023. № 11. С. 1450–1471.

22. *Замотаев И.В., Грачева Р.Г., Михеев П.В., Конопляникова Ю.В.* Формирование и трансформация почв в районах размещения отходов сахарной индустрии (обзор) // Почвоведение. 2022. № 8. С. 949–961.

23. *Караваева Н.А., Денисенко Е.А.* Постагрогенные миграционно-мицелярные черноземы разновозрастных залежей южной лесостепи ЕТР // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1165–1176.

24. *Злотин Р.И., Ходашова К.С.* Роль животных в биологическом круговороте лесостепных экосистем. М.: Наука, 1974. 220 с.

25. *Иванов А.Н.* Влияние дефеката на свойства, плодородие серых лесных почв Бие-Чумышского междуречья и урожайность сельскохозяйственных культур. Автореф. дис. ... к. с./х. н. Барнаул, 2004. 18 с.

26. *Карелин Д.В., Суховеева О.Э., Глаголев М.В., Добрянский А.С., Сабреков А.Ф., Замотаев И.В.* Годовой бюджет углеродсодержащих биогенных парниковых газов при смешанном землепользовании: Льговский район как модельный объект Центрального Черноземья // Почвоведение. 2023. № 8. С. 911–924.

27. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

28. *Козеев К.Ш., Стрелкова В.И., Тищенко С.А.* Влияние переувлажнения на биоту и свойства почв Юга России. Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2006.

143 с.

29. *Коноплина Е.А.* Оценка воздействия вторичных ресурсов сахарного производства на биоресурсы агроэкосистем. Автореф. дис. ... к. с./х. наук. Воронеж, 2011. 20 с.

30. *Кутовая О.В., Никитин Д.А., Гераськина А.П.* Технология no-till как фактор активности почвенных беспозвоночных в агрочерноземах Ставропольского края // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56. № 1. С. 199–210.

31. *Кутовая О.В., Тхакахова А.К., Чевердин Ю.И.* Влияние поверхностного переувлажнения на биологические свойства лугово-черноземных почв Каменной степи // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2016. Вып. 82. С. 56–70. DOI: [10.19047/0136-1694-2016-82-56-70](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-82-56-70).

32. *Мамонтов В.Г., Артемьева З.С., Лазарев В.И., Родионова Л.П., Крылов В.А., Ахмедзянова Р.Р.* Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 101. С. 182–201. DOI: [10.19047/0136-1694-2020-101-182-201](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-182-201).

33. Методы почвенно-зоологических исследований / Отв. ред. акад. *М.С. Гиляров*. М.: Наука, 1975. 279 с.

34. Микроорганизмы и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 1989. 206 с.

35. *Минникова Т.В., Русева А.С., Колесников С.И., Труфанов Д.А.* Численность бактерий в нефтезагрязненном черноземе обыкновенном после ремедиации // Вестник Московского Университета. Серия 17. Почвоведение. 2023. Т. 78. № 3. С. 65–75.

36. Мониторинг природных экосистем Центрально-Черноземного заповедника // Труды Центрально-Черноземного государственного заповедника. 2021. Вып. 20. 411 с.

37. *Мордкович В.Г.* Беспозвоночные животные и диагностика элементарных почвенных процессов // Почвоведение. 1991. № 10. С. 92–99.

38. *Мордкович В.Г.* Зоологическая диагностика почв: императивы, предназначение и место в составе почвенной зоологии и почвоведения // Журнал общей биологии. 2013. Т. 74. № 6. С. 463–471.

39. *Мордкович В.Г., Любчанский И.И.* Почвенные беспозвоночные русского лесостепья (обзор публикаций XX–XXI вв. и ревизия результатов) // Почвы и окружающая среда. 2020. № 4. С. 1–35.

40. *Никитин Д.А., Иванов Е.А., Железова А.Д., Семенов М.В., Гаджиумаров Р.Г., Тхакахова А.К., Чернов Т.И., Ксенофونتова Н.А., Кутовая О.В.* Оценка влияния технологии no-till и вспашки на микробиом южных агрочерноземов // Почвоведение. 2020. № 12.

С. 1508–1520.

41. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.

42. 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.

43. Пузанова Л.Н. Агроэкологическая оценка и сельскохозяйственное использование субстрата очистных сооружений свеклосахарных заводов: на примере ОАО “Сахарный комбинат “Льговский””: Автореф. дис. ... к. с-х. наук. Курск, 2009. 19 с.

44. Пухова Н.Ю., Верховцева Н.В., Ларина Г.Е. Структура микробного сообщества чернозема выщелоченного в зависимости от антропогенной нагрузки // Проблемы агрохимии и экологии. 2011. № 4. С. 42–47.

45. Рахлеева А.А. Роль зоогенных структур крупных почвенных беспозвоночных в создании и поддержании неоднородности почвенных свойств (обзор) // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2022. № 3. С. 30–35.

46. Снегин Э.А., Артемчук О.Ю. Оценка степени устойчивости популяций виноградной улитки (*Helix pomatia*) к действию генотоксичных компонентов городской среды // Системы контроля окружающей среды. Севастополь: ИПТС. 2018. Вып. 13(33). С. 110–114.

47. Щеглов Д.И. Черноземы центра Русской равнины и их эволюция под влиянием естественных и антропогенных факторов. М.: Наука, 1999. 211 с.

48. Щеглов Д.И., Чаплыгин Д.Ю., Говоров В.В. Почвенная мезофауна в черноземах Каменной степи // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2006. № 2. С. 184–189.

49. Coggan N.V., Hayward M.W., Gibb H. A global database and “state of the field” review of research into ecosystem engineering by land animals // J. Anim. Ecol. 2018. Vol. 87. P. 974–994. DOI: [10.1111/1365-2656.12819](https://doi.org/10.1111/1365-2656.12819).

50. Giebel R., Worden C., Rust S.M. et al. Microbial fingerprinting using matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry (MALDI-TOF MS) applications and challenges // Adv. Appl. Microbiol. 2010. Vol. 71. P. 149–184.

51. Holland R.D., Wilkes H.G., Rafii F. et al. Rapid identification of intact whole bacteria based on spectral patterns using matrix-assisted laser desorption/ionization with time-of-flight mass spectrometry // Rapid Commun. Mass Spectrom. 1996. Vol. 10. P. 1227–1232.

52. 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 106 (Rome: FAO). 192 p.

53. Lavelle P., Spain A., Blouin M., Brown G., Decaëns T., Grimaldi M., Jiménez J.J., McKay D., Mathieu J., Velasquez E., Zangerlé A. Ecosystem Engineers in a Self-organized Soil: A Review of Concepts and Future Research Questions // *Soil Sci.* 2016. Vol. 181. Iss. 3/4. P. 91–109. DOI: [10.1097/SS.0000000000000155](https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000155).

54. Le Bayon R.-C., Bullinger-Weber G., Schomburg A., Turberg P., Schlaepfer R., Guenat C. Earthworms as Ecosystem Engineers: A Review. In *Earthworms: Types, Roles and Research*. New York: NOVA Science Publishers, 2017. P. 129–178. URL:

<https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A27067>.

55. Mikheev P., Zamotaev I., Telnova N. Microbial Features in Newly Formed Soils of Disposal Fields from Sugar Refineries // *E3S Web of Conferences*. Actual Problems of Ecology and Environmental Management (APEEM) 265.03009. 2021. Vol. 265. P. 1–5.

56. Tsiafouli M.A., Thébault E., Sgardelis S.P., De Ruiter P.C., Van Der Putten, W.H., Birkhofer K., Hemerik L., de Vries F.T., Bardgett R.D., Brady M.V., Bjornlund L., Jørgensen H.B., Christensen S., Hertefeldt T.D., Hotes S., Gera Hol W.H., Frouz J., Liiri M., Mortimer S.R., Setälä H., Tzanopoulos J., Uteseny K., Pižl V., Stary J., Wolters V., Hedlund K. Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe. *Global Change Biology*. 2015. Vol. 21(2). P. 973–985. DOI: [10.1111/gcb.12752](https://doi.org/10.1111/gcb.12752).

REFERENCES

1. Afanas'eva E.A., *Chernozemy Sredne-Russkoi vozvyshennosti* (Chernozems of the Central Russian Upland), Moscow: Nauka, 1966, 227 p.
2. Andrushevich E.V., Zhukov A.V., Kunakh O.N., *Ekomorficheskaya organizatsiya soobshchestv mezopedobiontov kak osnova zoologicheskoi diagnostiki antropogennykh pochv* (Ecomorphic organization of mesopedobiont communities as the basis for zoological diagnostics of anthropogenic soils), *Visnik Kharkivs'kogo natsional'nogo universitetu imeni V.N. Karazina*, 2014, No. 1126, Seriya: biologiya, Vol. 22, pp. 86–97.
3. Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* (Guide to chemical analysis of soils), Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1970, 487 p.
4. Bazykina G.S., Ovechkin S.V., Migration-mycelial chernozems in biospheric cycles within the Kursk region, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2012, Vol. 70, pp. 3–18, DOI: [10.19047/0136-1694-2012-70-3-18](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2012-70-3-18).

5. Balabko P.N., Khusnetdinova T.I., Karpova D.V., Slavyanskii A.A., Vliyanie otkhodov sveklosakharnogo proizvodstva na plodorodie dernovo-podzolistoi pochvy pri vyrashchivanii kartofelya (The influence of beet sugar production waste on the fertility of soddy-podzolic soil when growing potatoes), *Agrokhimicheskii vestnik*, 2014, No. 6, pp. 22–25.
6. Barantsevich E.P., Barantsevich N.E., Primenenie MALDI-TOF mass-spektrometrii v klinicheskoi mikrobiologii (Application of MALDI-TOF mass spectrometry in clinical microbiology), *Translyatsionnaya meditsina*, 2014, No. 6, pp. 23–28.
7. Belobrov V.P., Yudin S.A., Ermolaev N.R., Aidiev A.Ya., Soil cover structure and transformation of morphometric parameters of Haplic Chernozems under no-tillage, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2023, Vol. 115, pp. 5–31, DOI: [10.19047/0136-1694-2023-115-5-31](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2023-115-5-31).
8. Bulgakova M.A., Sostav i chislennost' dozhdevykh chervei kak kosvennyi pokazatel' fizicheskikh svoystv pochv stepnykh agrotsenozov Predural'ya (Composition and abundance of earthworms as an indirect indicator of the physical properties of soils in steppe agrocenoses of the Cis-Urals), *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2017, No. 2, pp. 227.
9. Bulysheva A.M., Khokhlova O.S., Bakunovich N.O., Rusakov A.V., Myakshina T.N., Izmenenie svoystv pochv zalezhnogo ryada Kurskoi oblasti i trendy vosstanovleniya postagrogennykh pochv lesostepnoi i stepnoi zon (Changes in the properties of fallow soils in the Kursk region and trends in the restoration of postagrogenic soils in the forest-steppe and steppe zones), *Pochvovedenie*, 2021, No. 8, pp. 983–998.
10. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* (Methods for studying the physical properties of soils), Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p.
11. Voznyakovskaya Yu.M., Kurdyukov Yu.F., Popova Zh.P., Loshchinina L.P., Otsenka biologicheskogo sostoyaniya chernozema pod razlichnymi sevooborotami (Assessment of the biological state of chernozem under various crop rotations), *Pochvovedenie*, 1996, No. 9, pp. 1107–1111.
12. Vorob'eva L.A., *Khimicheskii analiz pochv* (Chemical analysis of soils), Moscow: Izd-vo Mosk. un-ta, 1998, 272 p.
13. Vsevolodova-Perel' T.S., *Dozhdevye chervi fauny Rossii. Kadastr i opredelitel'* (Earthworms of Russian fauna. Cadastre and key), Moscow: Nauka, 1997, 102 p.
14. Gilyarov M.S., Chernov Yu.I., Pochvennye bespozvonochnye v sostave soobshchestv umerennogo poyasa (Soil invertebrates in temperate communities), In: *Resursy biosfery*, Leningrad: Nauka, 1975, Vol. 1, pp. 218–240.

15. Gilyarov M.S., Krivolutskii D.A., *Zhizn' v pochve* (Life in the soil), Moscow: Mol. gvardiya, 1985, 191 p.
16. Gurin A.G., Gneusheva V.V., *Izmenenie agrokhimicheskikh svoystv pochvy i ee biologicheskoi aktivnosti pri ispol'zovanii otkhodov sakharnogo proizvodstva na posevakh yarovoi pshenitsy* (Changes in the agrochemical properties of soil and its biological activity when using sugar production waste on spring wheat crops), *Vestnik agrarnoi nauki*, 2018, No. 1(70), pp. 3–7.
17. Zhelezova A.D., Tkhakakhova A.K., Yaroslavtseva N.V., Garbuz S.A., Lazarev V.I., Kogut B.M., Kutovaya O.V., Kholodov V.A., *Mikrobiologicheskie pokazateli agregatov tipichnykh chernozemov v mnogoletnikh polevykh opytakh* (Microbiological parameters of aggregates of typical chernozems in long-term field experiments), *Pochvovedenie*, 2017, No. 6, pp. 711–717.
18. Zamotaev I.V., Belobrov V.P., *Ekologo-geneticheskie problemy zemlepol'zovaniya na Srednerusskoi vozvyshennosti (na primere L'govskogo raiona Kurskoi oblasti)* (Ecological and genetic problems of land use in the Central Russian Upland (using the example of the Lgovsky district of the Kursk region)), In: *Idei V.V. Dokuchaeva i sovremennye problemy sel'skoi mestnosti*. Part. 1. Moscow – Smolensk, 2001, pp. 18–24.
19. Zamotaev I.V., Belobrov V.P., Kurbatova A.N., Belobrova D.V., *Anthropogenic and post-Anthropogenic transformation of soils of l'gov region of kursk oblast*, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, Vol. 85, pp. 97–114, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-85-97-114](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-97-114).
20. Zamotaev I.V., Belobrov V.P., Yudin S.A., Belobrova D.V., *Otsenka pochvennykh svoystv pri monitoringe zemel' na regional'no-lokal'nom urovne* (Assessment of soil properties during land monitoring at the regional-local level), *Nauchnye vedomosti BelGU. Seriya Estestvennye nauki*, 2018, Vol. 42, No. 2, pp. 172–180.
21. Zamotaev I.V., Gracheva R.G., Konoplyanikova Yu.V., Dolgikh A.V., Karelin D.V., Belonovskaya E.A., Dobryanskii A.S., Mikheev P.V., *Pochvoobrazovanie na otkhodakh sakharnoi promyshlennosti v Tsentral'nom Chernozem'e* (Soil formation on waste from the sugar industry in the Central Black Earth Region), *Pochvovedenie*, 2023, No. 11, pp. 1450–1471.
22. Zamotaev I.V., Gracheva R.G., Mikheev P.V., Konoplyanikova Yu.V., *Formirovanie i transformatsiya pochv v raionakh razmeshcheniya otkhodov sakharnoi industrii (obzor)* (Formation and transformation of soils in areas where sugar industry waste is disposed of (review)), *Pochvovedenie*, 2022, No. 8, pp. 949–961.
23. Karavaeva N.A., Denisenko E.A., *Postagrogennyye migratsionno-mitselyarnyye chernozemy raznovozrastnykh zalezhei yuzhnoi lesostepi ETR* (Postagrogenic migration-mycelial chernozems of deposits of different ages in

the southern forest-steppe of the EPR), *Pochvovedenie*, 2009, No. 10, pp. 1165–1176.

24. Zlotin R.I., Khodashova K.S., *Rol' zhivotnykh v biologicheskoy krugovorote lesostepnykh ekosistem* (The role of animals in the biological cycle of forest-steppe ecosystems), Moscow: Nauka, 1974, 220 p.

25. Ivanov A.N., *Vliyaniye defekata na svoystva, plodorodie serykh lesnykh pochv Bie-Chumyshskogo mezhdurech'ya i urozhnost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: Avtoref. dis. ... kand. s./kh. n.* (The influence of defecate on the properties, fertility of gray forest soils of the Bie-Chumysh interfluvium and the productivity of agricultural crops, Extended abstract of Cand. Agri. Sci. theses), Barnaul, 2004, 18 p.

26. Karelin D.V., Sukhoveeva O.E., Glagolev M.V., Dobryanskii A.S., Sabrekov A.F., Zamotaev I.V., *Godovoy byudzhety uglekrodosoderzhashchikh biogennykh parnikovyykh gazov pri smeshannom zemlepol'zovanii: L'govskiy rayon kak model'nyi ob'ekt Tsentral'nogo Chernozem'ya* (Annual budget of carbon-containing biogenic greenhouse gases for mixed land use: Lgov region as a model object of the Central Black Earth Region), *Pochvovedenie*, 2023, No. 8, pp. 911–924.

27. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii* (Classification and diagnostics of soils in Russia), Smolensk: Oikumena, 2004, 342 p.

28. Kozeev K.Sh., Strelkova V.I., Tishchenko S.A., *Vliyaniye pereuvlazhneniya na biotu i svoystva pochv Yuga Rossii* (Impact of overwatering on biota and soil properties in the South of Russia), Rostov-na-Donu: Rostizdat, 2006, 143 p.

29. Konoplina E.A., *Otsenka vozdeistviya vtorichnykh resursov sakhar'nogo proizvodstva na bioresursy agroekosistem: Avtoref. dis. ... kand. s./kh. nauk* (Assessment of the impact of secondary resources from sugar production on the bioresources of agroecosystems, Extended abstract of Cand. Agri. Sci. theses), Voronezh, 2011, 20 p.

30. Kutovaya O.V., Nikitin D.A., Geras'kina A.P., *Tekhnologiya no-till kak faktor aktivnosti pochvennykh bespozvonochnykh v agrochernozemakh Stavropol'skogo kraya* (No-till technology as a factor in the activity of soil invertebrates in agrochernozems of the Stavropol Territory), *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2021, Vol. 56, No. 1, pp. 199–210.

31. Kutovaya O.V., Tkachukhova A.K., Cheverdin Yu.I., *Effects of surface flooding on biological properties of meadow-chernozems in Kamennaya steppe*, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2016, Vol. 82, pp. 56–70, DOI: [10.19047/0136-1694-2016-82-56-70](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-82-56-70).

32. Mamontov V.G., Artemyeva Z.S., Lazarev V.I., Rodionova L.P., Krylov V.A., Ahmetzyanova R.R., *Comparative characteristics of the properties of Halpich Chernozem of the Kursk Region of different land use*, *Dokuchaev Soil*

Bulletin, 2020, Vol. 101, pp. 182–201, DOI: [10.19047/0136-1694-2020-101-182-201](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-182-201).

33. *Metody pochvenno-zoologicheskikh issledovaniy* (Methods of soil zoology research), M.S. Gilyarov (Ed.), Moscow: Nauka, 1975, 279 p.

34. *Mikroorganizmy i okhrana pochv* (Microorganisms and soil protection), Moscow: Izd-vo MGU, 1989, 206 p.

35. Minnikova T.V., Ruseva A.S., Kolesnikov S.I., Trufanov D.A., Chislennost' bakterii v neftezagryaznennom chernozeme obyknovennom posle remediatsii (The number of bacteria in oil-contaminated ordinary chernozem after remediation), *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Seriya 17, Pochvovedenie*, 2023, Vol. 78, No. 3, pp. 65–75.

36. Monitoring prirodnnykh ekosistem Tsentral'no-Chernozemnogo zapovednika (Monitoring of natural ecosystems of the Central Black Earth Reserve), *Trudy Tsentral'no-Chernozemnogo gosudarstvennogo zapovednika*, 2021, Iss. 20, 411 p.

37. Mordkovich V.G., Bespozvonochnye zhivotnye i diagnostika elementarnykh pochvennykh protsessov (Invertebrate animals and diagnostics of elementary soil processes), *Pochvovedenie*, 1991, No. 10, pp. 92–99.

38. Mordkovich V.G., Zoologicheskaya diagnostika pochv: imperativy, prednaznachenie i mesto v sostave pochvennoi zoologii i pochvovedeniya (Zoological diagnostics of soils: imperatives, purpose and place in soil zoology and pedology), *Zhurnal obshchei biologii*, 2013, Vol. 74, No. 6, pp. 463–471.

39. Mordkovich V.G., Lyubchanskii I.I., Pochvennye bespozvonochnye russkogo lesostep'ya (obzor publikatsii XX–XXI vv. i reviziya rezul'tatov) (Soil invertebrates of the Russian forest-steppe (review of publications of the XX–XXI centuries and revision of the results)), *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*, 2020, No. 4, pp. 1–35.

40. Nikitin D.A., Ivanova E.A., Zhelezova A.D., Semenov M.V., Gadzhumarov R.G., Tkachkova A.K., Chernov T.I., Ksenofontova N.A., Kutovaya O.V., Otsenka vliyaniya tekhnologii no-till i vspashki na mikrobiom yuzhnykh agrochernozemov (Assessment of the impact of no-till technology and plowing on the microbiome of southern agrochernozems), *Pochvovedenie*, 2020, No. 12, pp. 1508–1520.

41. *Polevoi opredelitel' pochv Rossii* (Field guide to soils in Russia), Moscow: Pochvennyi in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2008, 182 p.

42. Prokofeva T.V., Gerasimova M.I., Bezuglova O.S., Bakhmatova K.A., Gol'eva A.A., Gorbov S.N., Zharikova E.A., Matinyan N.N., Nakvasina E.N., Sivtseva N.E., Vvedenie pochv i pochvopodobnykh obrazovaniy gorodskikh territorii v klassifikatsiyu pochv Rossii (Introduction of soils and soil-like

formations of urban areas into the soil classification of Russia), *Pochvovedenie*, 2014, No. 10, pp. 1155–1164.

43. Puzanova L.N., *Agroekologicheskaya otsenka i sel'skokhozyaistvennoe ispol'zovanie substrata ochistnykh sooruzhenii sveklosakharnykh zavodov: na primere OAO "Sakharnyi kombinat "L'govskii": Avtoref. dis. ... kand. s-kh. nauk* (Agroecological assessment and agricultural use of the substrate of treatment facilities of beet sugar factories: on the example of OJSC "Sugar Plant "Lgovsky", Extended abstract of Cand. Agri. Sci. theses), Kursk, 2009, 19 p.

44. Pukhova N.Yu., Verkhovtseva N.V., Larina G.E., *Struktura mikrobnogo soobshchestva chernozema vyshchelochennogo v zavisimosti ot antropogennoi nagruzki* (Structure of the microbial community of leached chernozem depending on anthropogenic load), *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2011, No. 4, pp. 42–47.

45. Rakhleeva A.A., *Rol' zoogennykh struktur krupnykh pochvennykh bespozvonochnykh v sozdanii i podderzhanii neodnorodnosti pochvennykh svoystv (obzor)*, *Vestnik Moskovskogo universiteta, Seriya 17: Pochvovedenie*, 2022, No. 3, pp. 30–35.

46. Snegin E.A., Artemchuk O.Yu., *Otsenka stepeni ustoichivosti populyatsii vinogradnoi ulitki (Helix pomatia) k deistviyu genotoksichnykh komponentov gorodskoi sredy* (The role of zoogenic structures of large soil invertebrates in the creation and maintenance of heterogeneity of soil properties (review)), In: *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy*, Sevastopol': IPTS, 2018, Vol. 13(33), pp. 110–114.

47. Shcheglov D.I., *Chernozemy tsentra Russkoi ravniny i ikh evolyutsiya pod vliyaniem estestvennykh i antropogennykh faktorov* (Chernozems of the center of the Russian Plain and their evolution under the influence of natural and anthropogenic factors), Moscow: Nauka, 1999, 211 p.

48. Shcheglov D.I., Chaplygin D.Yu., Govorov V.V., *Pochvennaya mezofauna v chernozemakh Kamennoi stepi* (Soil mesofauna in the chernozems of the Kamennaya Steppe), *Vestnik VGU. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya*, 2006, No. 2, pp. 184–189.

49. Bayon R.C., Bullinger-Weber G., Schomburg A. et al. Earthworms as ecosystem engineers: A review, In: *Earthworms – Types, Roles and Research*, New York, 2017, URL:

<https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A27067>.

50. Coggan N.V., Hayward M.W., Gibb H., A global database and “state of the field” review of research into ecosystem engineering by land animals, *J. Anim. Ecol.*, 2018, Vol. 87, pp. 974–994, DOI: [10.1111/1365-2656.12819](https://doi.org/10.1111/1365-2656.12819).

51. Giebel R., Worden C., Rust S.M. et al., Microbial fingerprinting using matrix-assisted laser desorption ionization time-of-flight mass spectrometry

(MALDI-TOF MS) applications and challenges, *Adv. Appl. Microbiol.*, 2010, Vol. 71, pp. 149–184.

52. Holland R.D., Wilkes H.G., Rafii F. et al., Rapid identification of intact whole bacteria based on spectral patterns using matrix-assisted laser desorption/ionization with time-of-flight mass spectrometry, *Rapid Commun. Mass Spectrom.*, 1996, Vol. 10, pp. 1227–1232.

53. 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 106. Rome: FAO, 192 p.

54. Lavelle P., Spain A., Blouin M., Brown G., Decaëns T., Grimaldi M., Jiménez J.J., McKey D., Mathieu J., Velasquez E., Zangerlé A., Ecosystem Engineers in a Self-organized Soil: A Review of Concepts and Future Research Questions, *Soil Sci.*, 2016, Vol. 181, Iss. 3/4, pp. 91–109, DOI: [10.1097/SS.0000000000000155](https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000155).

55. Mikheev P., Zamotaev I., Telnova N., Microbial Features in Newly Formed Soils of Disposal Fields from Sugar Refineries, *E3S Web of Conferences. Actual Problems of Ecology and Environmental Management (APEEM)*, 265. 03009, 2021, Vol. 265, pp. 1–5.

56. Tsiafouli M.A., Thébault E., Sgardelis S.P., De Ruiter P.C., Van Der Putten, W.H., Birkhofer K., Hemerik L., de Vries F.T., Bardgett R.D., Brady M.V., Bjornlund L., Jørgensen H.B., Christensen S., Hertefeldt T.D., Hotes S., Gera Hol W.H., Frouz J., Liiri M., Mortimer S.R., Setälä H., Tzanopoulos J., Uteseny K., Pižl V., Stary J., Wolters V., Hedlund K., Intensive agriculture reduces soil biodiversity across Europe, *Global Change Biology*, 2015, Vol. 21(2), pp. 973–985, DOI: [10.1111/gcb.12752](https://doi.org/10.1111/gcb.12752).