ПОЧВОВЕДЕНИЕ, 2023, № 11, с. 1450–1471

ДЕГРАДАЦИЯ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.48

ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ НА ОТХОДАХ САХАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ

© 2023 г. И. В. Замотаев[a], *, Р. Г. Грачева[a], Ю. В. Конопляникова[a], А. В. Долгих[a], Д. В. Карелин[a], Е. А. Белоновская[a], А. С. Добрянский[a], П. В. Михеев[b]

[a] *Институт географии РАН, Старомонетный пер., 29, Москва, 119017 Россия*

[b] *ФНЦГ им Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора, ул. Семашко, 2, Мытищи, Московская область, 141014 Россия*

**e-mail: zivigran@rambler.ru*

Поступила в редакцию 16.03.2023 г.
После доработки 15.05.2023 г.
Принята к публикации 01.06.2023 г.

Исследовали почвы, формирующиеся на очистных сооружениях сахарных заводов в лесостепной зоне Курской области. Рассмотрены техногенные факторы почвообразования, связанные с производственной свеклосахарной деятельностью, и посттехногенные процессы, действующие в периоды дренирования карт и при забрасывании очистных сооружений. Чередование карт (прудов-отстойников, чеков) и разделяющих их земляных валов определяет своеобразный ячеистый рисунок почвенного покрова. Режим поступления и спуска сточных вод, их состав, а также длительность забрасывания карт обусловливают специфику почв, формирующихся в днищах карт. В действующих картах при периодическом воздействии сточных вод в смеси с другими отходами развиваются перегнойно-гумусовые квазиглеевые арти-стратифицированные почвы. При забрасывании карт с предварительно удаленным известковым осадком сточных вод (дефекатом) при наличии верховодки за 30 лет формируются перегнойно-темногумусовые квазиглеевые почвы, а в условиях переменно-влажного режима увлажнения за 40 лет формируются черноземы квазиглеевые зоотурбированные. В заброшенных картах с сохранившимся дефекатом почвообразование за 20 лет заметно охватывает только верхние 10–15 см; ниже сохраняются свойства слоистого осадка. Здесь выделены темногумусовые техногенные арти-стратифицированные почвы на артифимострате. На валах, сложенных смешанным материалом исходных почв и лёссовидных суглинков, через 50–60 лет формируются темногумусовые типичные почвы; а на валах, перекрытых известковым осадком, выделены пелоземы гумусовые на артииндустрате, в которых материал осадка сохраняется практически неизмененным. Почвы полей фильтрации щелочные и сильнощелочные, обогащены органическим веществом, карбонатами, фосфатами, питательными элементами и некоторыми тяжелыми металлами, поступающими из сточных вод. По сочетанию свойств и признаков почвы очистных сооружений сахарной индустрии не имеют прямых природных аналогов в Центральном Черноземье и являются ярким примером почв, развивающихся в экстремальных условиях “избытка ресурса”.

Ключевые слова: техногенез, сточные воды, поля фильтрации, педогенные новообразования, Cambisols, Gleysols, Technosols

DOI: 10.31857/S0032180X2360052X, **EDN:** AHITWH

ВВЕДЕНИЕ

Почвообразование на отходах техногенной деятельности широко изучается в России и мире. Особое внимание уделяется преобразованию минеральных отходов горнодобывающей и строительной отраслей, складируемых в отвалах, хвостохранилищах, на полигонах. Эти объекты успешно рассматриваются как модели для изучения начального почвообразования и растительных сукцессий в разных природных зонах, и свойств почв, формирующихся на техногенных отходах разного состава [1, 8, 55, 57].

Значительно меньше внимания уделено почвообразованию на обезвоженных осадках очистных сооружений промышленных производств (бумажных, пищевых и т.д.), коммунальных предприятий, зон деятельности водоканалов и других источников отходов, находящихся под воздействием сточных вод [5, 17, 18, 43]. Среди этих объектов особое место занимают очистные сооружения сахарных заводов. Сахарное производство, одно из старейших производств пищевой промышленности, в России располагает свои предприятия в районах произрастания сырья –

сахарной свеклы. Это преимущественно лесостепные и степные зоны, территории серых лесных и черноземных почв; относительно небольшие масштабы производства сосредоточены в наиболее теплообеспеченных районах южнотаежной зоны. Значительная часть предприятий – 34 из 74 действующих – находится в Центральном Черноземье [51].

Сахарное производство потребляет значительные количества воды [39], соответственно, объемы сброса сточных вод сахарных заводов чрезвычайно велики. Их очистка требует сложных технологических приемов, одним из которых, несмотря на современные методы, остаются особые гидротехнические сооружения – поля фильтрации [17, 21, 40, 44].

Они представляют собой сеть прудов-отстойников или карт (называемых также чеками), окруженных земляными валами с встроенными в них различными техническими элементами для подачи и выпуска сточных вод. Сюда, помимо сточных вод или в их составе в виде взвесей, могут поступать смешанные отходы производства: фильтрационный осадок (дефекат), состоящий преимущественно из извести, применяемой в производстве сахара, транспортерно-моечный осадок, органический материал [39].

Очистные сооружения при сахарных заводах занимают от 70 до 250 га. Они формируют особый локальный ландшафт, имеющий специфическую ячеистую структуру рельефа и функционирующий под воздействием водного режима, связанного с технологией производства сахара, состава сточных вод и природно-климатических условий местности.

Обзор современной российской и зарубежной литературы показал, что поля фильтрации сахарных заводов исследуются прежде всего с природоохранных позиций; при этом почвообразование на осадках сточных вод не входит в сферу исследовательских интересов [19, 20, 47]. На этом фоне можно отметить работы [26, 34], выделившие – без детализации – некоторые почвы полей фильтрации (**ПФ**) Льговского сахарного завода, а также исследования [40, 41], посвященные изучению посттехногенной трансформации производственных ландшафтов исторических и действующих сахарных заводов. Авторы, исследовав заброшенные промплощадки заводских зон, выделили такие почвенные и почвоподобные образования, как “индустриоземы”, эмбриоземы, техноземы, реплантоземы и экраноземы [40, 41]. Однако за рамками изучения остался почвенный покров очистных сооружений, не рассматривается и собственно воздействие отходов сахарного производства на почвообразование. Классификация почв в этих работах не обсуждается.

В связи с этим очевидна необходимость изучения всего комплекса факторов и процессов формирования и трансформации почв в условиях воздействия сахарной индустрии, взаимосвязей техногенеза и природных процессов, разнообразия почв, формирующихся на разных элементах полей фильтрации и при разных режимах их функционирования, а также определения классификационного положения почв.

Цель работы – выявить специфику и основные закономерности формирования почв на действующих и заброшенных полях фильтрации на примере сахарных заводов в лесостепной зоне Курской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования послужили почвы ПФ сахарных заводов – действующего Льговского и закрытого в начале 2000-х гг. Пенского завода (Курчатовский район Курской области) (рис. 1). В качестве фоновой почвы использовали целинный чернозем типичный (миграционно-мицелярный) Курской биосферной станции с системой горизонтов: AU–AUlc–BCAmc–Cca [46, 54], согласно WRB – Haplic Chernozem Pachic [52].

Территория расположена в лесостепной зоне. Среднегодовые значения температуры воздуха в регионе за последние 10 лет повысились в среднем на 2°C и составляют +7.8°C; самый холодный месяц – январь (–6.6°C), самый теплый – июль (+21.3°C). Продолжительность вегетационного периода в среднем составляет 185 дней. Средняя многолетняя сумма осадков равна 570–600 мм [27]. Преобладающие почвы – черноземы типичные на лёссовидных суглинках, преимущественно распаханные. Небольшими пятнами в непосредственной близости к местным водоемам, в понижениях надпойменных террас, в плоских западинах водоразделов в условиях повышенного обводнения сформированы гидроморфные почвы разной степени оглеения. В зависимости от положения в рельефе они образуют ряд от лугово-болотных до черноземно-луговых (от перегнойно-квазиглеевых до гумусово-квазиглеевых почв). Почвы обогащены органическим веществом, имеют слабокислую или нейтральную реакцию среды, с глубиной переходящую в слабощелочную [27, 36].

Все рассмотренные ПФ созданы в 1950-х годах [34].

ПФ действующего Льговского сахарного завода (площадь 175 га) занимают водораздельную поверхность рек Бык и Опока на четвертичных отложениях, подстилаемых мергелями. Ширина карт варьирует от 30 до 80 м, длина – от 60 до 300 м. Высота межсекционных валов составляет 1.5–4 м, ширина – от 1.5 до 3 м.

ПФ закрытого Пенского сахарного завода (177 га) расположены на второй надпойменной террасе

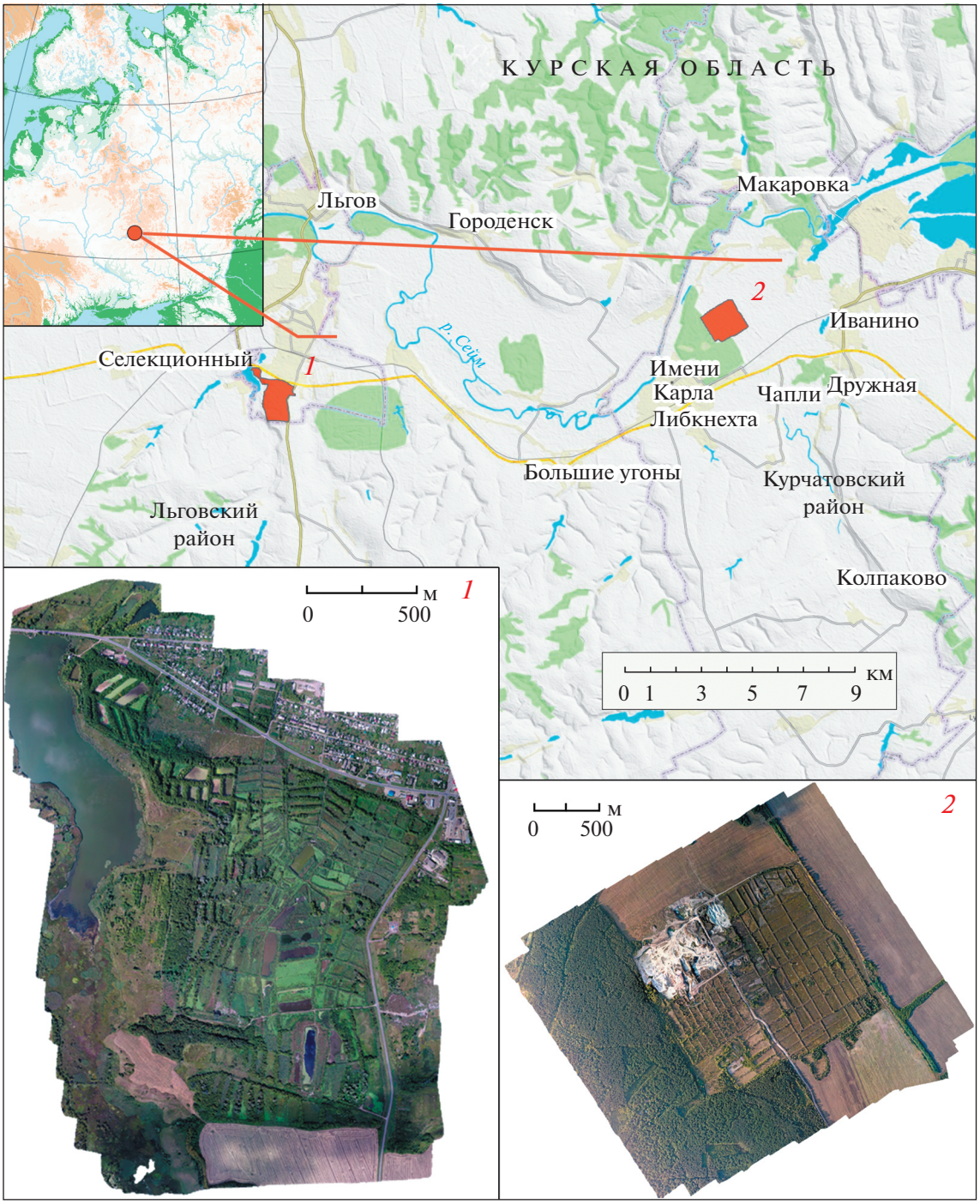


Рис. 1. Расположение объектов исследования: *1* – ортофотомозаика ПФ действующего Льговского сахарного завода; *2* – ортофотомозаика полей фильтрации закрытого Пенского сахарного завода.

р. Сейм. Для них характерны карты шириной от 50 до 80 м, длиной от 160 до 290 м, окруженные валами высотой от 2 до 4 м, шириной до 2 м.

В результате анализа материалов съемок с беспилотных летательных аппаратов (**БПЛА**) установлено, что днища карт размещаются выше окружающей местности (от 3 до 40 м). Это обеспечивает свободный дренаж и предотвращает длительный застой воды в картах.

В плане ПФ сахарных заводов образуют своеобразную ячеистую или чековую морфоскульптуру (“геоморфологический феномен”). По конфигурации исследуемых объектов можно выделить прямоугольную, полигональную и параллело-

грамную типы структур. Это хорошо видно на снимках, полученных с БПЛА).

Полевые исследования проводились в 2019–2022 гг. Информация о почвенных разрезах приведена в табл. 1.

На исследуемой территории выделено шесть групп почв, формирующихся на межсекционных валах и в днищах карт. В пределах каждой группы описаны почвы наиболее характерных местоположений, различающихся комплексом факторов и спецификой педогенеза. Строение профилей почв ПФ представлено на рис. 2.

Почвы, формирующиеся на межсекционных валах ПФ Льговского и Пенского сахарных заводов. Валы в основном не подвергались антропогенному воздействию со времени их формирования в 1950-х годах; некоторые валы были локально повреждены в периоды очистки карт от осадков сточных вод и использовались для несанкционированного складирования строительных и бытовых отходов.

I. Выделили два типа валов с характерными для них почвами:

I-1 – почвы валов, сложенных смешанным материалом исходных почв (черноземов типичных) и карбонатных лёссовидных суглинков, перемещенных из выемок карт при сооружении ПФ (рис. 2f);

I-2 – почвы валов, перекрытых до глубины более одного метра обезвоженными осадками сточных вод (смесью известкового дефеката и органического материала), перемещенных из карт в процессе их очистки (рис. 2e).

Почвы, формирующиеся в днищах карт. Выемки карт исходно имели глубину от 2 до 3 м, при этом в их днищах на поверхности оказывались самые нижние горизонты исходных черноземов или карбонатные лёссовидные суглинки.

Выделено четыре группы почв в картах с разными режимами функционирования и длительностью прекращения их использования.

II-1 – в действующих картах, ежегодно затапливаемых сточными водами в течение 2–3 мес. и постепенно накапливающих осадки сточных вод; при спуске вод осадок частично вымывается, поверхность обсыхает до следующего затопления. Поверхность покрыта ряской малой (*Lemna minor*), при последующем обсыхании – мезофильным низкотравьем (рис. 2a).

II-2 – в заброшенных 20 лет назад картах, неочищенных от высохших осадков сточных вод под высокотравным растительным покровом из однолетников (рис. 2b);

II-3 – в заброшенных 30 лет назад картах, очищенных от осадков сточных вод, с временной верховодкой под тростником обыкновенным (*Phragmites australis*) (рис. 2c). После удаления осадка на поверхность был экспонирован нижележащий материал абрадированных исходных почв и лёссовидных суглинков, трансформированный под воздействием минерализованных сточных вод в период использования карт.

II-4 – в заброшенных 40 лет назад картах, очищенных от осадков сточных вод под кленом ясенелистным, он же клен американский (*Acer negundo*) (рис. 2d).

Заброшенные карты могут временно затапливаться дождевыми и снеговыми водами.

Полевые исследования включали в себя морфологическое описание почвенных разрезов (общее количество 9) с использованием цветовых таблиц Манселла, а также определение плотности с использованием буриков конструкции Качинского (объем 100 см^3) и твердости почв с помощью пенетрометра. Был применен иерархический морфологический анализ. Мезоморфологические исследования проводили в поле (детальное рассмотрение с помощью лупы), а также в лабораторных условиях с помощью оптического микроскопа Leica MZ6 (рабочие увеличения ×6–80). Микроморфологические исследования строения мелкозема проводили в тонких шлифах с помощью поляризационного микроскопа Nikon E200 Pol, рабочие увеличения – ×40, 100, 400.

Физические, физико-химические и химические свойства почв определяли в химической лаборатории Института географии РАН по стандартным методикам: гранулометрический состав – пирофосфатным методом, pH – потенциометрическим методом, количество карбонатов – методом алкалиметрического титрования [2, 9, 10]. Содержание углерода и азота измеряли на CHN-анализаторе Vario Isotope cube фирмы Elementar методом поточной масс-спектрометрии после пиролиза пробы при температуре 1500°C в Центре коллективного пользования “Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии” ИГ РАН. Солевой состав почв определяли на ионном хроматографе ICS-1100; химический состав сточных вод Льговского сахарного завода, отобранных из действующих карт осенью 2020 и 2021 гг., – при помощи спектрометра эмиссионного с индуктивно-связанной плазмой 5110ICP-OES и ионного хроматографа ICS-1100.

Растительный покров приведен на момент описания почвенных разрезов. При повторных посещениях отмечали изменения растительного покрова, особенно заметные в действующих картах и связанные с длительностью их обсыхания и зарастания. В этих случаях рассматриваем существующий во время описания растительный покров как одну из повторяющихся стадий, вносящих свой вклад в процессы почвообразования.

Таблица 1. Краткие сведения о почвенных разрезах (2019–2022 гг.)

Группа почв	Элемент рельефа ПФ	Разрез	Координаты	Растительность	Формула профиля	Наименование почвы	
						по КиДПР (2004, 2008)	по WRB
I-1	Межсекционные валы, сложенные смешанным материалом исходных почв и лёссовидных суглинков	1) LG -02-20 2) LG-03-20 3) LG-06-20	1) 51°37.348′ N, 35°15.847′ E 2) 51°36.818′ N, 35°15.389' E 3) 51°36.902′ N, 35°14.913′ E	Разреженные заросли клена ясенелистного (асс. *Aceretum negundi* L. Ish. in L. Ish. et al. 1989)	AU–(AB)–C, где C – смешанный материал черноземов типичных и лёссовидных суглинков	Темногумусовые типичные на органолитострате	Eutric Cambisol (Organotransportic)
I-2	Межсекционные валы, перекрытые известковым дефекатом с включениями органического материала	LG-08-20	51°37.500′ N, 35°15.373′ E	Лебеда (*Atriplex sagittata*), крапива двудомная (*Urtica dioica*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*), с участием тростника (*Phragmites australis*) и клена ясенелистного (*Acer negundo*) (асс. *Urtico dioicae–Echinocystietum lobatae* Bulokhov et Kharin 2008)	W–TCHca, где TCHca – известковый дефекатный материал с органическими включениями	Пелоземы гумусовые на артииндустрате	Spolic Technosol (Alcalic, Calcaric, Transportic)
II-1	Днища действующих карт Льговскогого сахарного завода	LG-10-20	51°37.604′ N, 35°15.014′ E	Ряска малая (асс. *Lemnetum minoris* von Soó 1927)	AHca,dc–TCHca,rr–Q1dc–Q2mc, где TCHca,rr– известковый дефекатный материал с тонкими органоминеральными прослоями	Перегнойно-гумусовая квазиглеевая арти-стратифицированная на биогенно переработанном минеральном осадке сточных вод	Calcaric Gleysol (Alcalic, Clayic)
		LG-06-22	51°37.646″N, 35°14.646′ E		Hca–TCHca, rr–Q1–Q2mc	Перегнойная квазиглеевая арти-стратифицированная	Histic Gleysol (Alcalic Clayic)
II-2	Днища карт ПФ Пенского сахарного завода, неочищенные от осадков сточных вод и заброшенные 20 лет назад	PN-03-21	51°38.372′ N, 35°30.399′ E	Плотные заросли крапивы двудомной (асс. *Urtico dioicae–Echinocystietum lobatae* Bulokhov et Kharin 2008)	AUdc–AU–TCH1ca,rr–TCH2ca,rr,q–TCH3ca,rh–TCH4ca,rr–TCH5ca,rh – TCH6ca,rr,q–TCH7ca,rr, где TCH – известковый дефекатный материал с тонкими органоминеральными прослоями	Темногумусовая арти-стратифицированная на артифимострате	Spolic Technosols (Alkalic, Calcaric)
II-3	Днища карт ПФ Льговского сахарного завода, очищенные от осадков сточных вод, заброшенные 30 лет назад; с временной верховодкой	LG-02-19	51°36.827′ N, 35°15.393′ E	Плотные заросли тростника обыкновенного (асс. *Phragmitetum australis* Savič 1926)	AHdc–AU–AB–BCAdc–Qmc	Перегнойно-темногумусовая квазиглеевая [30] (гидрометаморфическая) [23] биотурбированная на остаточном материале абрадированных исходных почв	Gleyic Cambisol (Alcalic, Loamic, Protocalcic)
II-4	Днища карт ПФ Льговского сахарного завода, очищенные от осадков сточных вод, заброшенные 40 лет назад	LG-01-20	51°37.362′ N, 35°15.858′ E	Плотные заросли клена ясенелистного (асс. *Acceretum* negundi L. Ish. in L. Ish. et al. 1989)	AU1–AU2–AB1–AB2mc–BCA1mc–BCA2mc–BCA3mc,q–BCA4mc,q	Чернозем миграционно-мицелярный, квазиглееватый биотурбированный на остаточном материале абрадированных исходных почв	Haplic Cambisol (Alcalic, Protocalcic)

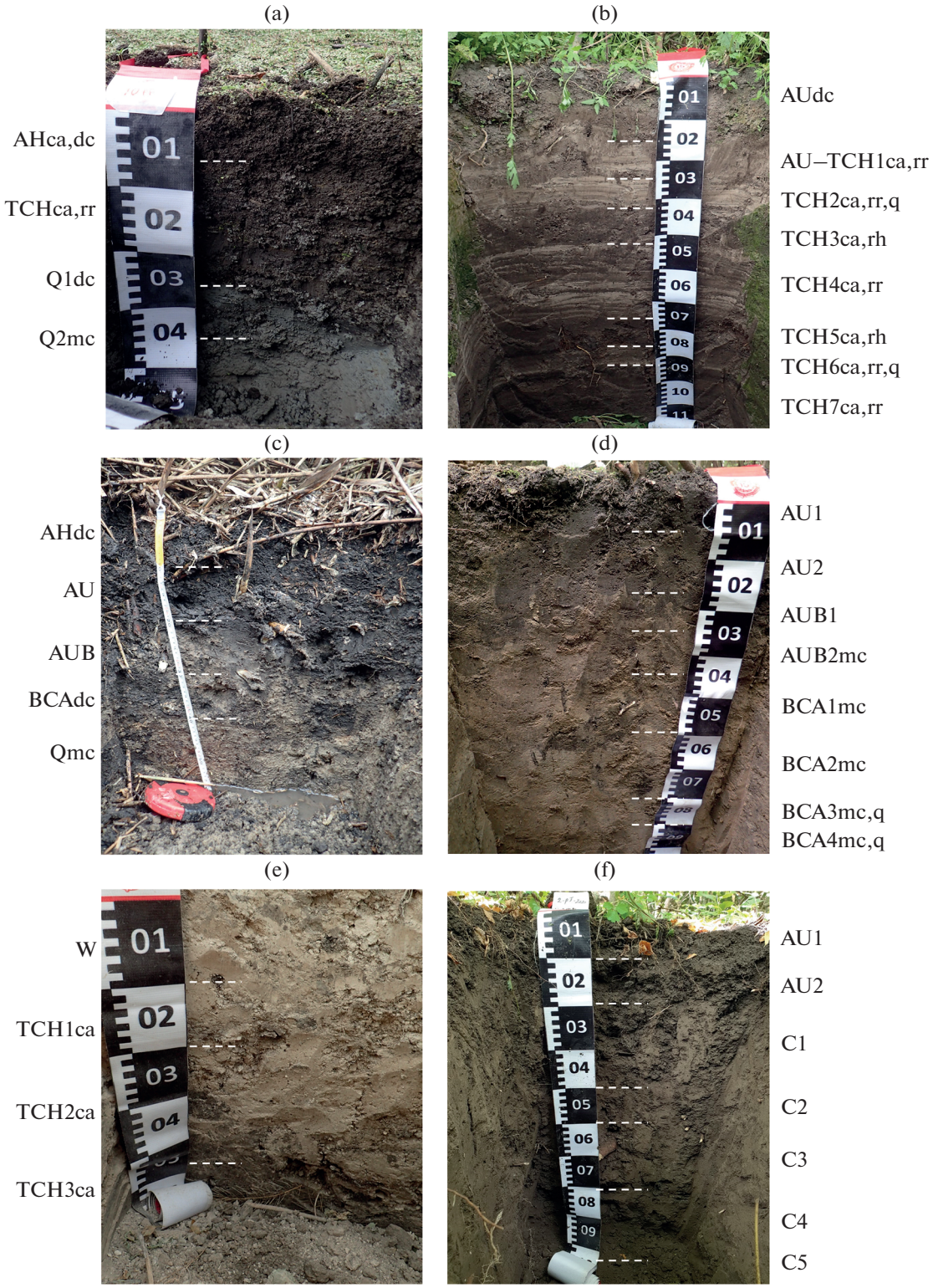


Рис. 2. Строение профилей почв днищ карт и валов ПФ. a – перегнойно-гумусовая квазиглеевая арти-стратифицированная почва (разрез LG-10-20, группа II-1), b – темногумусовая почва на артифимострате (разрез PN-03-21, группа II-2), c – перегнойно-темногумусовая квазиглеевая почва (разрез LG-02-19, группа II-3), d – чернозем миграционно-мицелярный, квазиглееватый (разрез LG-01-20, группа II-4), e – пелозем гумусовый техногенный на артииндустрате (вал) – (разрез LG-08-20, группа I-2), f – темно-гумусовая типичная почва на органолитострате (вал) (разрез LG-02-20, группа I-1).

Таблица 2. Техногенные геохимические и механические нагрузки, характерные для полей фильтрации сахарных заводов на этапе строительства и функционирования

Группы нагрузок	Механические		Геохимические		
Типы нагрузок	Техногенная аккумуляция субстратов и почв; денудация (срезание) почв и субстратов при строительстве карт с функциональными элементами и их очистке от осадков сточных вод	Турбация почв и пород при работе техники	Техногенные потоки, поступающие на поля фильтрации		
			Сточные воды: диффузные, жомопрессовые, хозяйственно-бытовые и др.	Фильтрационный осадок (дефекат) образуется на технологических стадиях очищения свекловичного сока и сиропа	Транспортерно-моечный осадок формируется при отстаивании ловушечных, свекломоечных и элеваторных вод в отстойниках

Для геоинформационного обеспечения почвенно-генетических исследований применяли различные источники пространственных данных. Съемки с БПЛА DJI Mavic pro platinum и Mavic pro 2 (с различных высотных эшелонов, 100–200 м) и фотограмметрическая обработка (Agisoft Metashape Professional Edition, Version 1.5) полученных материалов использовали для построения цифровых моделей местности и рельефа с пространственным разрешением 6–12 см и ортофотомозаик с пространственным разрешением 3–6 см, на основе которых были определены морфометрические параметры карт, а также превышение ПФ над окружающей территорией, препятствующее застою вод и заболачиванию. На основе дешифрирования разновременных аэрокосмических снимков различного пространственного разрешения и типа были восстановлены периоды (очереди) использования карт ПФ и время выведения их из эксплуатации и забрасывания.

Названия почв даны по классификации и диагностике почв России (2004) и полевому определителю почв России (2008) [23, 30], с дополнениями по классификационной разработке [33], а также по международной классификации WRB [52]. Следует особо отметить, что специфичность почв изученных ПФ и соотношение природных и техногенных процессов и свойств создает заметные трудности при выборе корректных определений почв в российской классификации, а также в поиске аналогов в международной классификации.

ТЕХНОГЕЗ КАК ФАКТОР ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ

Нарушение целостности почв и пород – механическая трансформация при работе техники – начинается уже на этапе строительства ПФ, когда создается сеть карт, разделенных валами, и одновременно происходит вклинивание технических сооружений в природную среду (табл. 2). В пределах контура ПФ, занимающего площади в сотни гектаров, формируются новые техногенные положительные и отрицательные формы рельефа. Земляные валы, заросшие плотным травянистым покровом или кустарниками и деревьями (преимущественно кленом ясенелистным с глубокой и разветвленной корневой системой), отличаются большей стабильностью, чем валы с отсыпкой твердого дефеката. Дефекат при высыхании подвержен осыпанию, а при увлажнении – эрозионному смыву, что приводит к деформации поверхности и скатов. Растительный покров на таких валах формируется однолетним высокотравьем с участием тростника и клена ясенелистного, однако закрепления материала поверхности и скатов вала не происходит.

Карты ПФ действуют в режиме периодического заполнения сточными водами в смеси с разбавленными фильтрационными (дефекат) и транспортерно-моечными осадками и в режиме осушения.

По завершении производства карты частично или полностью очищают от осадка и подготавливают к повторному использованию, что приводит к заметным механическим нарушениям поверхности днищ, а иногда и склонов валов, а также ухудшает фильтрационные свойства и водопроницаемость абрадированной почвенно-грунтовой толщи днищ. Имеющиеся материалы, включающие собственные натурные исследования, свидетельствуют, что при длительном неиспользовании этих карт абрадированные минеральные горизонты днищ иссушаются и растрескиваются, особенно сильно при большом содержании известкового дефеката, становятся похожими на такыры с полигонально-трещиноватой поверхностью [40]. По наблюдениям авторов, заселение занесенными с окружающих территорий сообще-

ствами однолетников (например, асс. Cannabio-Atriplicetum nitentis Ishbirdin in Ishbirdin et al. 1988) происходит очень быстро, в течение нескольких недель.

Некоторые из карт забрасываются в неочищенном состоянии. В этом случае в них сохраняются значительные объемы органического и минерального осадка, залегающего отчетливо выраженными тонкими намытыми слоями. При забрасывании карты этот материал становится почвообразующей породой формирующихся почв. Наши данные показывают, что мощность отложений, образовавшаяся за период функционирования карт Пенского завода с 1973 по 2001 гг., варьирует от 190 до 320 см, Льговского за тот же период – от 80 до 120 см. Имеющиеся различия в выраженности слоев, содержании отдельных фракций, мощности и периодичности слоев в почвенных профилях связаны с разным гидрологическим режимом карт, длительностью их использования и рядом других более частных причин. Общей особенностью отложений является преобладание в их составе фракции крупной пыли и очень низкое содержание более крупных частиц.

При механическом удалении высохших осадков на дневной поверхности оказывается нижняя часть абрадированного почвенного профиля или исходная почвообразующая порода. На этом материале, трансформированном под воздействием минерализованных сточных вод, после прекращения использования карт и поселения растительности развиваются новые посттехногенные почвы.

Состав производственных сточных вод, отводимых на поля фильтрации Льговского сахарного завода. ОАО “Сахарный комбинат Льговский” перерабатывает около 2300 тыс. т сахарной свеклы в сутки [22]. По данным на 2009 г. [34], за сезон переработки сахарной свеклы (средняя продолжительность 110 дней, сентябрь–декабрь) формировался суммарный сток неочищенных сточных вод до 755 тыс. т. Усовершенствование технологии очистки, проведенное на производстве в последние годы, привело к значительному снижению объема отведенных стоков до 483.11 тыс. т. [49].

Уточненные данные о компонентном составе сточных вод Льговского сахарного завода (отбор 2021 г.) дали возможность сопоставить их с полученными ранее [20, 56] и определить специфику воздействия отработанных стоков на среду и почвы. Она заключается в привносе широкого спектра геохимически активных веществ, в первую очередь, минеральных взвесей, органических веществ, ионов аммония, соединений кальция, железа, марганца и микроэлементов (табл. 3).

Кроме того, на ПФ в составе сточных вод поступает определенное количество используемых в производстве сахара технологических вспомогательных средств (антинакипинов, поверхностно-активных веществ, пеногасителей и др.), пестицидов и патогенных микроорганизмов [6, 8, 21, 38].

Наряду со сточными водами, важными факторами формирования и химической трансформации почв на ПФ являются фильтрационный (сахарный дефекат) и транспортерно-моечный осадки. Техногенное воздействие дефеката определяется высоким содержанием в нем карбонатов (40–80%), органического вещества (10–30%; для сравнения в навозе 21%), 0.2–0.7% азота, 0.5–0.7% фосфора (P_2O_5), 0.2–0.7% калия (K_2O), до 0.2% железа, 0.0007–0.0008% меди, 0.005–0.75% марганца и др., а также присутствием тяжелых металлов (Zn, Ni, Pb, Cd), содержание которых может превышать региональный фон [16, 25, 34].

Осаждающийся из сточных вод материал транспортерно-моечного осадка является источником обогащенного органическим веществом мелкозема (около 93%), который налипает на корнеплоды сахарной свеклы и выносится из агросерых почв и агрочерноземов в период уборки культуры [8, 31, 42]. Кроме того, в осадках присутствуют обломки и бой корнеплодов сахарной свеклы, ботва, мезга, корешки, кожура, а также сахар, кислый свекловичный сапонин, сульфаты, хлориды, патогенные микроорганизмы и др. примеси [8, 31].

В мелкоземистой части осадка доминируют фракции 0.25–0.005 мм (крупная пыль – 36.9%, средняя пыль – 23.4%, мелкий песок – 22.6%). Экспериментальные исследования, проведенные на ряде сахарных заводов, показали, что скорость осаждения частиц разного размера на поверхность днищ карт варьирует от 0.01 до 3 мм/с [39]. При этом некоторое количество крупных взвесей (>0.25 мм) теряется вместе с осветленной водой вследствие несовершенного гидродинамического режима в действующих отстойниках. Это связано с особенностями их конструкции, приводящими к появлению зон с высокими скоростями течения воды.

Таким образом, общее техногенное воздействие на среду и почвы в районах размещения отходов сахарной индустрии обусловлено: 1) изъятием земель для организации ПФ; 2) сбросом сточных вод многокомпонентного состава в смеси с дефекатом и транспортерно-моечным осадком, обогащенных органическими соединениями, карбонатами и питательными элементами; 3) привносом содержащихся в неочищенных отработанных стоках легкорастворимых солей, тяжелых металлов (содержание которых еще требует исследования), фосфатов, технологических вспомогательных средств, сапонина и микроорганизмов, часто токсичных и опасных для природной среды и почв.

Таблица 3. Компонентный состав сточных вод Льговского сахарного завода (отбор 2021 г.)

Показатель	Единица измерения	Нормативы (не более) по [29, 48, 50]	Содержание*
Запах при 20°C	Балл	2	**4, гнилостный**
pH	Ед.	6–9	7.3
Окисляемость перманганатная	мг O_2/дм^3	5 для поверхностных вод	**9.8–10.4**
Химическое потребление кислорода (ХПК)	мг/дм^3	250	**619**
Биохимическое потребление кислорода (БПК$_5$)	мг/дм^3	50	**586**
Аммиак и аммоний-ион	мг/дм^3	1.5	**4.9**
Нитрит-ионы	мг/дм^3	3.0	0.01
Нитрат-ионы	мг/дм^3	45.0	1.1
Сульфат-ионы	мг/дм^3	0–100	0.78
Хлорид-ионы	мг/дм^3	0–300	44.6
Фосфат-ионы	мг/дм^3	–	<0.1
Общее микробное число (ОМЧ) 37°C, 24 ч	КОЕ/мл	100	**1600–4000**
Твердые взвешенные вещества	мг/дм^3	50	**72**
Fe (общее содержание)	мг/дм^3	0–5	**7.8**
Mn (общее содержание)	мг/дм^3	0–1	**1.74**
Ca (общее содержание)	мг/дм^3	0–180	**229**
Zn (общее содержание)	мг/дм^3	0–0.01	**0.024**
Cu (общее содержание)	мг/дм^3	0–0.005	**0.0023**
Sr (общее содержание)	мг/дм^3	0–0.4	**0.5**
Cd (общее содержание)	мг/дм^3	0–0.005	0.0012

*Полужирным шрифтом выделены показатели, превышающие нормативы по СанПИН [29], Постановлению Правительства РФ № 644 [48], Руководству по охране окружающей среды, здоровья и труда для сахарной промышленности [50].

Обилие и разнообразие органических и минеральных веществ, нехарактерных для региональных природных условий, поступающих в очистные сооружения, оседающих в них и вовлекаемых в процессы почвообразования и геохимические потоки, можно отнести к “избыточным ресурсам” [11, 12] по сравнению с почвообразующими ресурсами черноземных почв.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По специфике факторов (геоморфологическое положение, длительность и режим поступления сточных вод, характер субстрата, состав растительных группировок, длительность использования в качестве карт, современное состояние и использование после забрасывания карт) и особенностям почвообразования на ПФ выделены шесть групп почв.

Почвы насыпных валов полей фильтрации

I-1. На валах, сложенных механической смесью материала фоновых природных черноземных почв и лёссовидного суглинка, извлеченного из карт при их строительстве, широко распространен инвазивный чрезвычайно агрессивный вид – клен ясенелистный (*Acer negundo*). Под его мертвопокровными зарослями обнаружены почвы, для которых наиболее типичен разрез LG-02-20. По формуле профиля AU (1–2 см)–C (1–5 см) они отнесены к *темногумусовым типичным* почвам, соответствующим отделу органо-аккумулятивных (рис. 2f). Учитывая высокие значения pH и содержания $CaCO_3$ (рис. 3), а также данные по сумме обменных оснований (от 45 до 48 мг-экв./100 г почвы) в подобных почвах Льговских ПФ [34], относим почвы к Eutric Cambisol (Organotransportic) согласно классификации WRB [52].

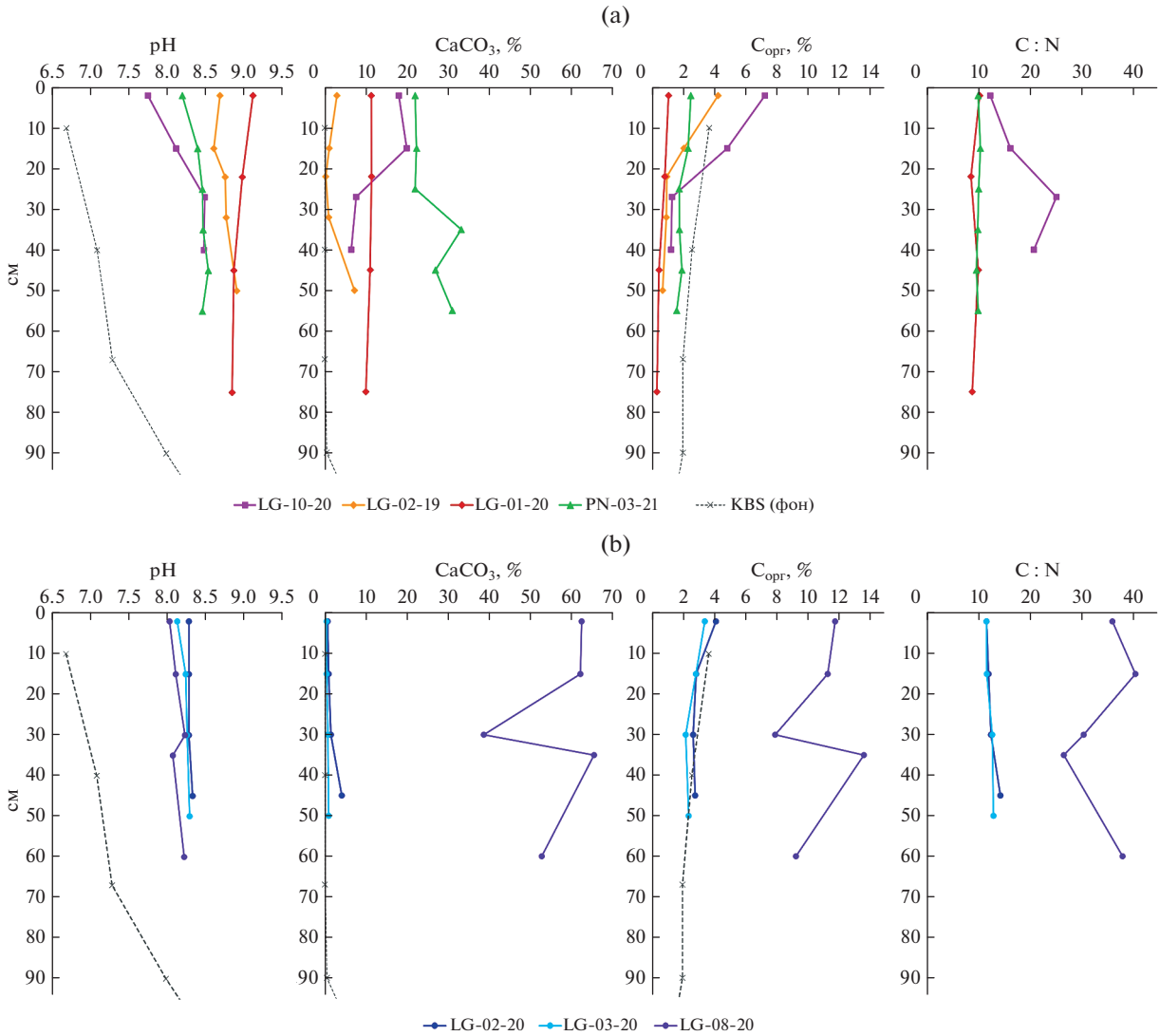


Рис. 3. Некоторые физико-химические и химические свойства почв днищ (a) и валов (b) карт ПФ сахарных заводов. Разрез LG-10-20 – перегнойно-гумусовая квазиглеевая арти-стратифицированная почва (группа II-1), разрез PN-03-21 – темногумусовая почва на артифимострате (группа II-2), разрез LG-02-19 – перегнойно-темногумусовая квазиглеевая почва (группа II-3), разрез LG-01-20 – чернозем миграционно-мицелярный, квазиглееватый (группа II-4), разрез LG-08-20 – пелозем гумусовый техногенный на артииндустрате (группа I-2), разрез LG-02-20, LG-03-20, – темно-гумусовая типичная почва на органолитострате (группа I-1).

Темногумусовые типичные почвы (разрез LG-02-20 (51°37.348′ N, 35°15.847′ E), разрез LG-03-20 (51°36.818′ N, 35°15.389′ E), разрез LG-06-20 (51°36.902′ N, 35°14.913′ E) имеют ясно выраженные темно-серые (10YR 3/2) или буровато-темно-серые (10YR 2/2, 10YR 2/2-2/3) темногумусовые горизонты мощностью до 30 и более см и хорошо выраженную ореховато-комковато-зернистую преимущественно копрогенную структуру. Они характеризуются близкими значениями pH (8.1–8.3), содержания карбонатов ($CaCO_3$ 0.6–1.4%) и углерода (3.1–4.0%), средним соотношением C : N 12–14 (рис. 3b).

Значения плотности (0.96–1.05 г/см^3) и твердости (10–20 мм) новообразованного темногумусового горизонта ниже по сравнению с нижележащим материалом (плотность 1.22–1.26 г/см^3, твердость 24 мм и более). Этому способствуют активные фито- и зоотурбационные процессы, обусловленные обилием горизонтально стелющихся, сильноразветвленных корней клена ясенелистного и деятельностью почвенной макрофауны, прежде всего, сапрофагов: дождевых червей (*Lumbricidae*) и энхитреид – кольчатых червей (Enchytraeidae). Изменение содержания карбонатов (значения $CaCO_3$) по профилю зависит от их исходного содержания в перемещенном материале. В целом, почвы на валах данного типа развиваются под воздействием текущих процессов почвообразования, и примерно за 70 лет с момента со-

здания валов в почвах формируется хорошо выраженный гумусовый горизонт, протекает биогенное оструктуривание, профиль дифференцируется по плотности и твердости; при этом ниже гумусового горизонта могут сохраняться свойства материала, из которого сложены валы.

I-2. На валах, перекрытых твердыми отходами сахарных заводов – палево-бледно-серым (10YR 7/2) глинистым дефекатом, обогащенным органическим веществом, под высокотравьем и тростниковыми зарослями, с участием клена ясенелистного (доминанты: *Atriplex sagittata, Urtica dioica, Artemisia vulgaris, Phragmites australis, Acer negundo*) формируются почвы, резко отличные от других почв валов. Здесь они представлены разрезом LG-08-20 (51°37.500′ N, 35°15.373′ E). Дефекат можно отнести к техногенным поверхностным образованиям (ТПО) – артииндустратам из группы артифабрикатов, согласно классификации и диагностике почв России [23, 30]. Почвы с формулой профиля W–TCHca(1-3) определены как пелоземы гумусовые техногенные на артииндустрате из отдела слаборазвитых почв (рис. 2e), малый индекс "ca" здесь и при описании других профилей почв ПФ использован для обозначения не литогенных, а техногенных, привнесенных со сточными водами карбонатов. По классификации WRB [52] это, несомненно, Technosols, а субквалификаторы позволяют показать их состав и свойства: Spolic Technosol (Alcalic, Calcaric, Transportic).

Пелоземы техногенные (разрез LG-08-20) состоят из неоднородного поверхностного горизонта (5–10 см), где на палево-бледно-сером (10YR 6/2) фоне (известковый материал) прослеживаются отдельные темно-серые (10YR 5/2) и бурые (рис. 4g) участки, с непрочной комковатой структурой и обилием тонких корней. Остальная масса дефеката имеет очень слабые признаки почвообразования в виде прокрашивания органическим веществом, биотурбаций. К специфике свойств относится высокое содержание карбонатов (52.7–65.5% – "дефекатная карбонатность") и органического углерода (7.8–13.6% $C_{орг}$) за счет обилия дисперсных органических остатков, а также очень высокое соотношение органического углерода к общему азоту (C/N = 27–40) (рис. 3b). Кривая свойств очень четко указывает на слой погребенных органических остатков на глубине 35–40 см. В целом, свойства отражают высокую сохранность техногенного материала, слабо измененного только в самой поверхностной зоне.

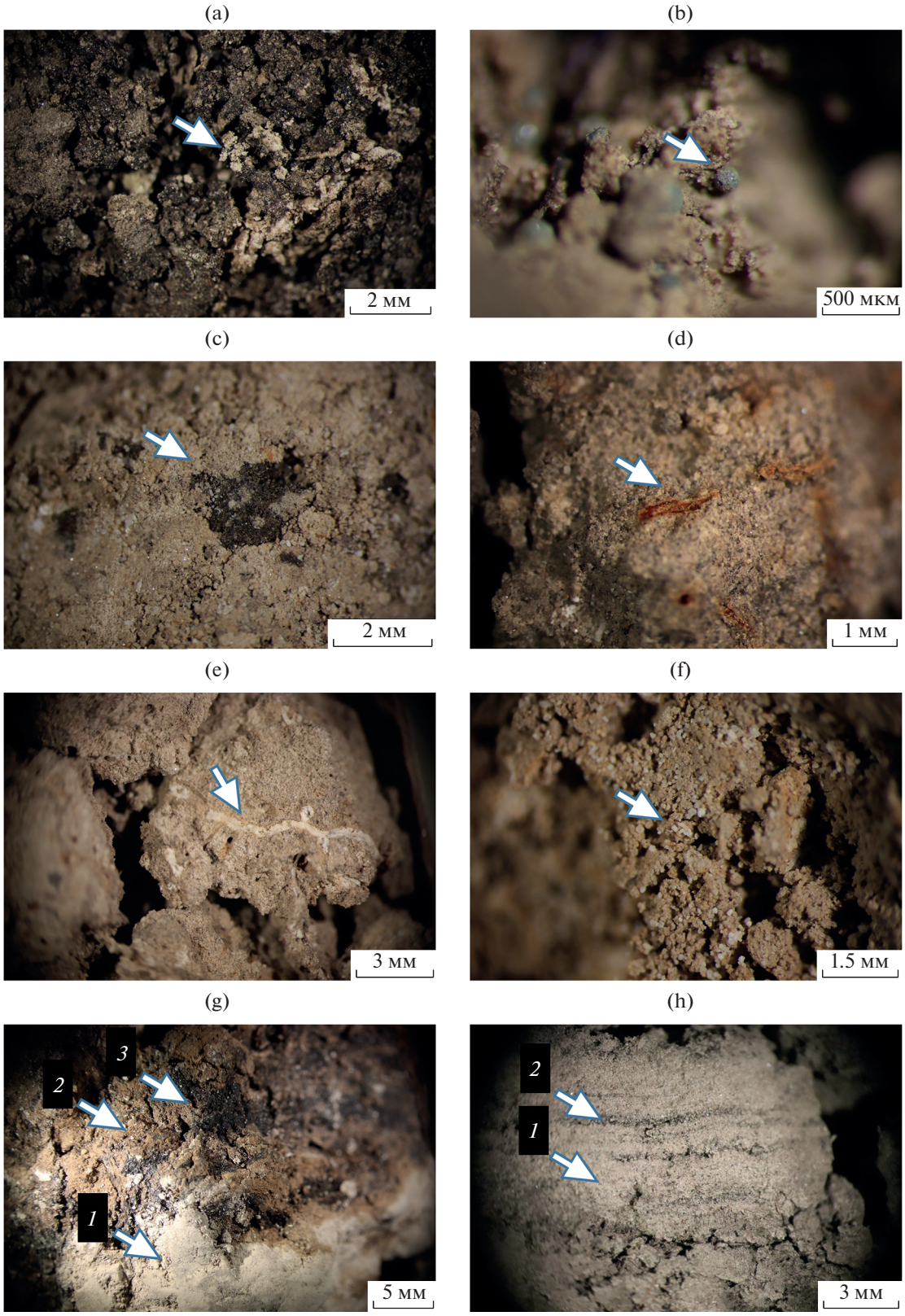
Почвы днищ карт полей фильтрации

II-1. На ежегодно затапливаемых в течение 2–3 мес. и с течением времени обсыхающих днищах действующих карт ПФ Льговского сахарного завода описаны два типичных почвенных профиля. Они сформированы на границе водной и обсыхающей поверхностей, полностью покрытых гидрофильными растениями, преимущественно ряской малой (*Lemna minor*) и отдельными мезофильными травянистыми видами по бортам карты. Разрез LG-10-20 (51°37.604′ N, 35°15.014′ E), формула профиля AHca,dc–TCHca,rr–Q1–Q2mc, почва перегнойно-гумусовая квазиглеевая арти-стратифицированная (рис. 2a). Согласно WRB [52], почва отвечает определению Calcaric Gleysol (Alcalic, Clayic); техногенную слоистость мог бы отразить отсутствующий квалификатор Technofluvic. Разрез LG-06-22 (51°37.646′ N; 35°14.646′ E), формула профиля Hca–TCH–Q1ca,rr–Q2mc. Почва определена как перегнойная квазиглеевая арти-стратифицированная.

В действующих картах на осадках сточных вод формируются почвы гидроморфного ряда. При том, что карты используются около 70 лет, почвы представляют собой кратковременные, но ярко выраженные стадии почвообразования в течение каждого периода осушения (аэрации), длительность которых составляет от нескольких недель до нескольких месяцев.

Почвы характеризуются наличием темно-коричневого (2.5Y3/2) перегнойного слегка оторфованного или коричневато-темно-серого перегнойно-темногумусового (7.5YR 2/2) горизонта с обилием среднеразложенных растительных остатков и слабооформленными органоминеральными комковатыми микроагрегатами (рис. 4a, 5a, 5b). В горизонте AH отмечаются карбонатные новообразования в форме рыхлых микритовых скоплений, пропиток и окарбоначенных растительных остатков (рис. 4a, 5b). Органогенные горизонты мощностью 5–10 см постепенно переходят в техногенную тонкослоистую толщу (TCH), слабо переработанную почвенными процессами и представляющую

Рис. 4. Мезоморфологическое строение почв полей фильтрации: a – рыхлые микритовые карбонаты и органическое вещество в горизонте AH (0–5 см), разрез LG-10-20, ×32. b – новообразования вивианита в горизонте Q1 (25–30 см), разрез LG-10-20, ×80; c – гумусированный материал червороины в горизонте BCA2mc (50–65(70) см), разрез LG-01-20, ×25; d – ожелезнение по ходам корней в горизонте AB2mc (22(30)–35 см), разрез LG-01-20, ×32, e – карбонатный псевдомицелий (прожилки по корневым ходам) в горизонте BCA4mc,q (80–105 см), разрез LG-01-20, ×12,5; f – карбонаты в форме рассеянных спаритовых кристаллов в горизонте BCA3mc,q (65(70)–80 см), разрез LG-01-20, ×25, g – дефекат: контакт белесого известкового материала (*1*) с буроокрашенным материалом (*2*) с черными пятнами и микропрослоями (*3*) в горизонте TCH3 (50–70 см) в разрезе LG-08-20 на дефекатном валу, ×6, h – чередование светлоокрашенных (*1*) и темноокрашенных гумусированных микрослоев (*2*) в отложениях из дефеката в горизонте TCH3ca,rr (40–65 см), разрез PN-03-21.


(a)
2 мм
(b)
500 мкм
(c)
2 мм
(d)
1 мм
(e)
3 мм
(f)
1.5 мм
(g)
3
2
1
5 мм
(h)
2
1
3 мм

собой чередование карбонатных и органических микропрослоев (рис. 5c), которые сменяются квазиглеевыми горизонтами (Qmc). Почвы содержат в большом количестве карбонаты (рис. 3a), их максимальное содержание наблюдается в верхних горизонтах (18.0–20.0%) и резко снижается в нижних до 6.4–7.6%, в нижней части профиля карбонаты представлены микритовыми пропитками и спаритовыми прожилками по ходам корней (рис. 5d).

Гидрогенный метаморфизм проявляется с глубины 25 см в виде серо-сизых тонов окраски (2.5YR 6/4) с ржавыми железистыми пятнами и ожелезнением по корневым ходам и порам, а также в специфических формах фосфатных новообразований. На глубине 25 см отмечены выделения вивианита ($Fe_3[PO_4]_2 \cdot 8H_2O$) $Fe_3[PO_4]_2 \cdot 8H_2O$) размером до 150 мкм серовато-голубоватого цвета шарообразной, плоской и неправильной формы, иногда с выраженным блеском (рис. 4b). Зафосфаченность квазиглеевых горизонтов подтверждается аналитическими методами. Общие формы фосфора обнаруживают здесь значительную аккумуляцию (0.31–0.36%), что позволяет исследуемые почвы отнести *к подтипу химически загрязненных, роду зафосфаченные* [23, 30, 33].

Реакция среды щелочная по всему профилю (pH 7.8–8.5). Щелочность связана, прежде всего, с регулярным поступлением карбонатов со сточными водами и с обилием карбонатов и карбонатных новообразований в исходном материале днищ карт. Содержание органического углерода в почвах высокое (рис. 3a), от 7.21% в перегнойно-гумусовом горизонте (AH) до 1.13% в нижнем квазиглеевом (Q). Почвы сильно обогащены азотом в поверхностных горизонтах (C : N = 12); ниже соотношение C : N значительно увеличивается (21–25), свидетельствуя о медленной минерализации органического вещества.

Для этой почвы был выполнен анализ водной вытяжки. Оказалось, что концентрация почти всех водорастворимых форм элементов в почвах используемой карты не превышает значений, характерных для фоновых почв [14, 37]. Исключением является заметная аккумуляция сульфат-иона SO_4^{2} в органогенном горизонте (0–5 см), где его содержание достигает 440 мг/л; ниже по профилю количество сульфат-иона не превышает 50–60 мг/л, что характерно для фоновых почв и других почв днищ заброшенных карт. Несмотря на содержание известковых взвесей в сточных водах и присутствие дефеката, концентрация Ca^{2+} также не превышает среднее содержание в фоновых лесостепных черноземах, составляющее 155–390 мг/л [14, 37]. Таким образом, при поступлении в почву даже избыточного содержания водорастворимых солей они легко выносятся из почвы с оттоком сточных вод и атмосферных осадков.

Периодическое поступление на поверхность карт со сточными водами тонкодисперсного материала транспортерно-моечного осадка отражается в морфологии почв и приводит к некоторой дифференциации гранулометрического состава почв, от среднего иловато-крупнопылеватого суглинка в верхней части до тяжелого суглинка – легкой глины в нижней части профиля (табл. 4). Фракции песка (1–0.25 и 0.25–0.05 мм) присутствуют в минимальном количестве. Как уже упоминалось, они выносятся в связи с особенностями гидродинамического режима в отстойниках (при высоких скоростях воды).

Помимо специфических морфо-химических свойств *перегнойно-гумусовые квазиглеевые арти-стратифицированные почвы* характеризуются и особенным функционированием, связанным с повышенным уровнем среднегодовой эмиссии диоксида углерода в летний период (0.41 г C (CO_2)/(м^2 ч), превышающим в несколько раз фон [20]. Как показал анализ эмиссии CO_2 из карт ПФ, чем чаще происходят затопления, тем выше уровень эмиссии. По нашему мнению, в основном это связано с притоком сточных вод, богатых органическими веществами, и в этом случае эмиссия обусловлена почти исключительно активностью микробиоты. При этом микробиоло-

Рис. 5. Микроморфологическое строение почв полей фильтрации. a – крупные среднеразложенные растительные остатки (*1*) и органо-минеральные агрегаты (*2*) в горизонте AH (0–5 см) в разрезе LG-10-20, ×25, PPL; b – окарбоначенные растительные остатки, где карбонаты представлены крупными спаритовыми кристаллами (*1*), карбонатная микритовая пропитка основной массы (*2*) и органическое вещество в форме среднеразложенных растительных остатков (*3*) в горизонте AH (0–5 см) в разрезе LG-10-20, ×25, XPL; c – карбонатные спаритовые (*1*), органические (*2*) и карбонатные микритовые (*3*) микропрослои в материале дефеката, горизонт TCHca,rr (5–25 см) в разрезе LG-10-20, ×50, XPL; d – карбонатные спаритовые прожилки по ходам корней в горизонте Q2mc (30–50) в разрезе LG-10-20, ×25, XPL; e – фосфатные кутаны в горизонте BCAdc (30–40 см) в разрезе LG-02-19, ×100, PPL; f – ожелезнение основной массы горизонта вокруг сильноразложенных растительных остатков (*1*), карбонатные микритовые выделения по корневым трубкам (*2*), карбонатные микритово-микроспаритовые пятна (*3*) в горизонте Q (40–70 см) в разрезе LG-02-19, ×40, XPL; g – карбонатные микритовые микронодули/мелкие пятна (*1*) и карбонатная пропитка в биогенных агрегатах (копролитах) (*2*) в горизонте AH (0–10 см) в разрезе LG-02-19, ×40, XPL; h – карбонатные спаритовые выделения по ходам корней (1) и ожелезнение основной массы вокруг растительных остатков в горизонте Q (40–70 см) в разрезе LG-02-19, ×40, XPL; i – округлые комковатые биогенные агрегаты (копролиты) в горизонте AU (0-5(8) см) в разрезе разрез LG-01-20, ×25, PPL; j – карбонатные спаритовые выделения по ходам корней в горизонте BCA1mc (35–50 см) в разрезе LG-01-20, ×25, XPL.

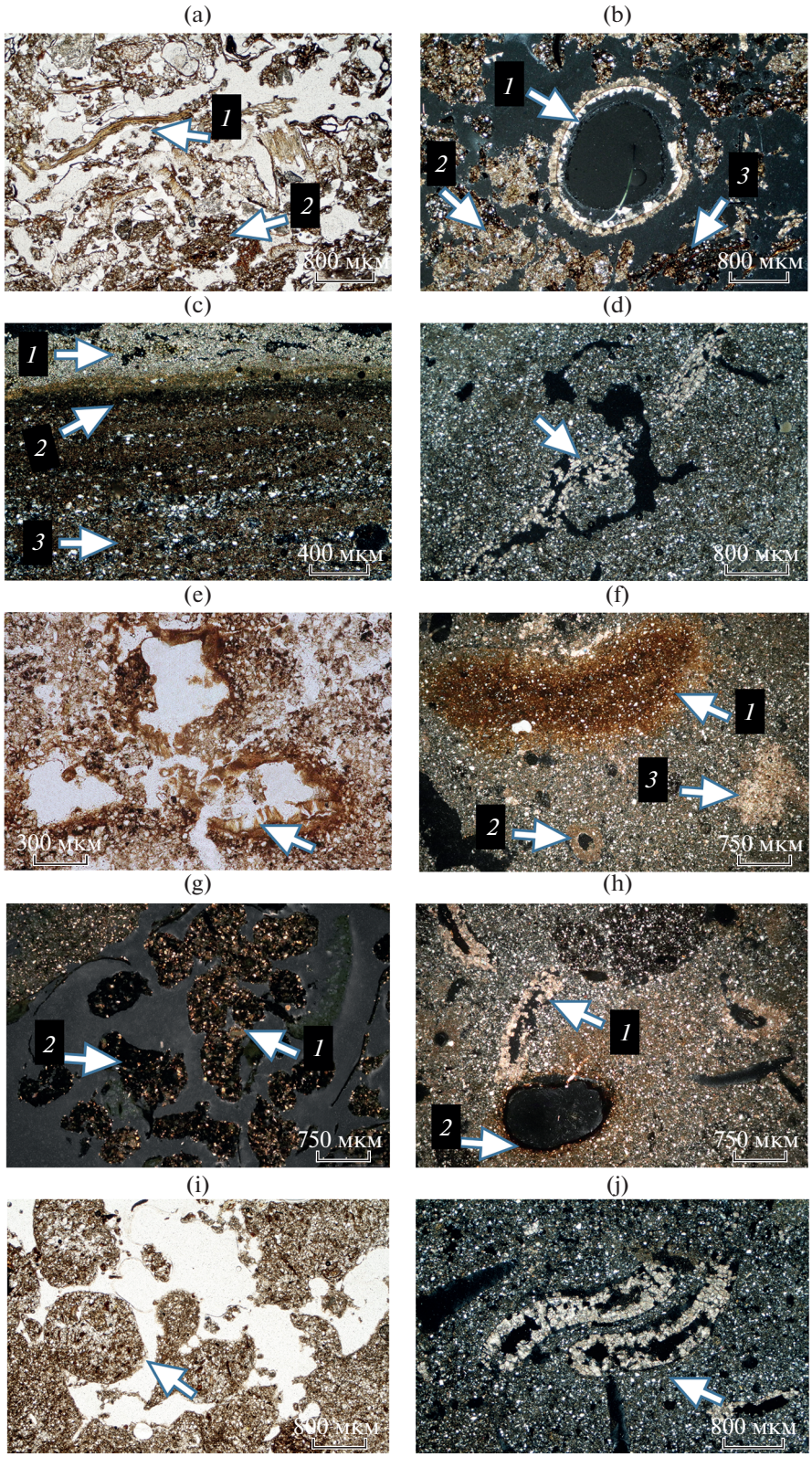

(a)
1
2
800 мкм
(b)
1
2
3
800 мкм
(c)
1
2
3
400 мкм
(d)
800 мкм
(e)
300 мкм
(f)
1
3
2
750 мкм
(g)
2
1
750 мкм
(h)
1
2
750 мкм
(i)
800 мкм
(j)
800 мкм

Таблица 4. Гранулометрический состав почв в действующих и заброшенных картах полей фильтрации

Горизонт	Глубина, 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
II-1. Действующая карта. Разрез LG-10-20								
AHca.dc	0–5	2.17	4.56	59.82	9.01	8.55	15.89	33.45
TCHca.rr	5–25	0.21	0.71	54.84	12.76	9.67	21.81	44.24
Q1dc	25–30	0.06	2.17	50.44	8.16	11.91	27.26	47.33
Q2mc	30–50	0.27	0.05	45.04	11.31	14.34	28.99	54.64
II-2. Заброшенная 20 лет назад неочищенная карта. Разрез PN-03-20								
AUdc	0–10	0.53	2.42	57.26	13.74	13.66	12.39	39.79
AU-TCH1ca.rr	10–20	0.40	0.96	54.98	16.11	13.24	14.31	43.66
TCH2ca.rr.q	20–30	0.32	0.18	56.62	14.28	15.06	13.54	42.88
TCH3ca.rh	30–40	0.33	0.27	45.56	21.05	18.00	14.79	53.84
TCH4ca.rr	40–50	0.60	0.34	61.70	18.82	7.71	10.83	37.36
TCH4ca.rr	50–65	0.50	0.24	60.07	17.05	11.97	10.17	39.19
II-3. Заброшенная 30 лет назад очищенная карта. Разрез LG-02-19								
AHdc	0–10	0.65	1.28	55.06	7.21	9.08	26.72	43.01
AU	10–20	0.23	4.71	53.67	8.78	8.61	24.00	41.39
AB	20–30	0.06	0.97	58.03	7.87	9.44	23.63	40.94
BCAdc	30–40	0.04	2.87	56.83	8.21	7.51	24.54	40.26
Qmc	40–60	0.45	2.64	57.10	6.95	9.36	23.50	39.81
II-4. Заброшенная 40 лет назад очищенная карта. Разрез LG-01-20								
AU	2–7	0.20	1.00	53.38	8.87	10.59	25.96	45.42
AB	20–25	0.12	1.11	54.45	8.59	10.55	25.18	44.32
BCAmc	40–50	0.09	1.52	52.00	9.11	10.22	27.06	46.39
BCAmc.q	70–80	0.12	2.47	50.77	8.63	11.29	26.72	46.64

гические процессы деструкции органического вещества протекают с высокой интенсивностью в основном за счет бактерий (5.6×10^6 КОЕ/г) при незначительной численности актиномицетов и особенно микромицетов (плесневых грибов), составляющей 100 КОЕ/г [56].

II-2. В сухих днищах, заброшенных с неудаленным осадком сточных вод карт ПФ Пенского сахарного завода, исследованы почвы на тонкослоистых минеральных и органических отходах сахарного производства. Карты не затапливаются к моменту описания 20 лет. Разрез PN-03-2021 (51°38.372′ N; 35°30.399′ E) описан под плотными зарослями крапивы двудомной (асс. *Urtica dioica*); формула профиля: AUdc–AU–TCHca,rr–TCH2-7 ca,rr,(rh),(q) (рис. 2b). Почва определена нами как темногумусовая арти-стратифицированная на артифимострате [23, 30]. По классификации WRB [52], почву можно отнести к Spolic Technosols (Alkalic, Calcaric) с некоторым допущением, поскольку слоистость как квалификатор отсутствует в этой реферативной группе почв.

Эти почвы можно было бы рассматривать в рамках синлитогенного ствола почвообразования как стратоземы темногумусовые с горизонтом RU [23]. Однако это название, формально отражающее морфологию профиля, относит почву к категории природных образований, при этом теряя их техногенную специфику. Горизонт RU – стратифицированный темногумусовый горизонт – не отвечает свойствам исследуемых объектов, так как основу слоистых горизонтов составляет не гумусовый материал, а минеральный высококарбонатный осадок сточных вод с очень тонкими прослоями дисперсного органического вещества. Они могут отражать микрофазы гумусообразования, перекрываемые ежегодным обильным поступлением со сточными водами минерального материала, составляющего основную массу слоев-горизонтов (рис. 4h). Эту картину точнее описывает индекс техногенного горизонта TCH с признаками ca и rr, отражающими техногенную слоистость и карбонатность материала. Таким образом, при индексации слоев-горизонтов подобных почв техногенных ландшафтов предлагается использовать

индекс ТСН, отличающих их при сходстве строения от почв природного синлитогенного почвообразования со стратифицированным горизонтом RU (стратоземов темногумусовых). При обсыхании карты техногенный слой оказывается в большей или меньшей мере преобразованным процессами почвообразования. Определение "арти-стратифицированная", указывая на техногенную природу слоистости, позволяет более адекватно объяснить генезис и свойства подобных почв.

Профиль состоит из темногумусового горизонта (AU) темно-серого цвета с коричневатым оттенком (10YR 2/3) мощностью 10–15 см, постепенно сменяющегося слоистой толщей с чередованием преимущественно органических темно-серых с коричневым оттенком (10YR 2/3) и светло-палевых преимущественно известковых прослоев (10YR 6/2–5/2) мощностью 1–2 см, поступавших со сточными водами в смеси с другими отходами в период функционирования карт (рис. 4h).

Почвы имеют щелочную реакцию (pH 8.2–8.5) и высокое содержание карбонатов по всему профилю (22–33%). Для темногумусовых горизонтов почв (содержание углерода 2.25–2.42%) характерно низкое соотношение C : N 10, что связано с техногенной обогащенностью органическим веществом. С глубиной содержание углерода убывает, оставаясь достаточно высоким (1.86%) на глубине 50–65 см (рис. 3а).

Гранулометрический состав почвы ожидаемо разнороден вследствие техногенной слоистости. Лишь поверхностные горизонты (до глубины 30 см) имеют одинаковый среднесуглинистый преимущественно крупнопылеватый состав. Наблюдающееся повышение содержания физической глины (53.8%) на глубине 30–40 см связано с органическим материалом транспортерно-моечного осадка. Максимальное значение твердости на этой глубине (28–30 мм) подтверждает наличие уплотненного участка, действующего как локальный водоупор, проявляющийся в формировании над ним мелких диффузных пятен ожелезнения. Второй водоупор обнаруживается в нижней части профиля, где с глубины 65 см вскрывается квазиглеевая толща (10YR 4/2–10Y R6/2) с затрудненной фильтрацией и слабой аэрацией, бурно вскипающая от HCl, с единичными мелкими диффузными ожелезненными пятнами размером 5–7 мм.

В почвах заброшенных неочищенных карт признаки синлитогенного почвообразования ослабевают через 20 лет, что особенно заметно в верхних частях профиля, где исходные слои превращаются в относительно гомогенные почвенные горизонты постлитогенных почв. Постлитогенное почвообразование в темногумусовой арти-стратифицированной почве проявляется в поступлении и трансформации растительных остатков, гумусообразовании, проработке мезофауной, копролитообразовании (копролиты отмечаются до глубины 40–65 см), образовании биогенной комковато-зернистой структуры. Трансформация материала прослоев осадка сточных вод педогенными процессами ослабляется на глубине 30–40 см. Есть данные, показывающие, что полное сближение свойств темногумусовых арти-стратифицированных почв со свойствами фоновых природных почв маловероятно. Известны случаи, когда "индустриальный след", связанный с остаточной "дефекатной слоистостью", сохраняется в зоотурбированных почвах на полях фильтрации сахарных заводов Украины, заброшенных более 100 лет назад [40].

Согласно литературным данным, обеспеченность почв ПФ сахарных заводов питательными элементами (NPK) очень высокая. Содержание подвижного фосфора (P_2O_5) составляет 229.0 мг/кг, обменного калия (K_2O) – 404.0–648.4 мг/кг, легкогидролизуемого азота (NO_3) – 148.5–183.0 мг/кг [37, 38]. Для сравнения в окружающих агрочерноземах содержание этих питательных элементов значительно ниже: 155.1, 91.8 и 43.1 мг/кг соответственно.

По нашим данным [20], наряду с благоприятными агрохимическими свойствами в арти-стратифицированных почвах наблюдаются повышенные содержания Cd (0.17–0.33 мг/кг; кларк – 0.09 мг/кг; фон – 0.12 мг/кг) и Zn (47– 62 мг/кг; кларк – 75 мг/кг; фон – 44 мг/кг) по сравнению с черноземными суглинистыми почвами. Это может ограничивать их использование как потенциальных земель сельскохозяйственного назначения. Однако в пределах наблюдаемых карт участки, близкие к дорогам, регулярно используются местными жителями под огороды. Некоторые карты Пенского сахарного завода после его закрытия использовались под посев травяных смесей для производства кормов. Для возможного вовлечения почв ПФ в сельскохозяйственный оборот необходима строгая экспертиза с детальными исследованиями как содержания тяжелых металлов, так и микробиологического состояния почв, а также последующая рекультивация.

II-3. Очищенные от осадков сточных вод карты ПФ Льговского сахарного завода, заброшенные примерно 30 лет назад, с временной верховодкой, в период описания покрыты гигрофильной растительностью – плотными зарослями тростника обыкновенного (асс. *Phragmitetum australis*). При очистке от осадка сточных вод в сфере почвообразования оказался материал, экспонированный при сооружении карт, погребенный под осадками сточных вод и испытывавший их воздействие во время деятельности предприятия (40 лет до забрасывания), – карбонатные лёссовидные суглинки и, возможно, остатки абрадированных исходных черноземов. Актуальная почва имеет свойства как техногенно- унаследованные (высокое содер-

жание фосфатов, карбонатов и ряда тяжелых металлов), литогенно-унаследованные (гранулометрический состав), так и сформированные за последние 30 лет, из которых наиболее очевидными являются аккумуляция органического вещества, биогенная проработка, формирование карбонатных, железистых и фосфатных новообразований, гидрогенная метаморфизация, дифференциация на горизонты.

Разрез LG-02-19, формула профиля AHdc–AU–AB–BCAdc–Qmc. Почвы отнесены к *перегнойно-темногумусовым квазиглеевым биотурбированным* (рис. 2c). Согласно WRB [52], их можно определить как Gleyic Cambisol (Alcalic, Loamic, Protocalcic).

Диагностируются по наличию четырех горизонтов: органогенного горизонта (O) – слоя опада тростника мощностью до 25 см; перегнойно- гумусового (AH) с окраской от темно-серого (10YR 3/1) до черного (10YR 1.7/1), постепенно переходящего в темногумусовый (AU, 10YR 3/1) горизонт, и залегающего под ним неоднородно окрашенного – с буровато-темносерыми (10YR 3/2) пятнами на тусклом желтовато-буром фоне (10YR 5/4) – квазиглеевого горизонта (Q).

Содержание $C_{орг}$ максимально в поверхностном перегнойно-гумусовом горизонте за счет обилия органических остатков (4.18%), снижается в темногумусовом до 1.97%, затем постепенно убывает с глубиной, составляя 0.59% у нижней границы квазиглеевого горизонта (рис. 3a). Реакция среды сильнощелочная по всему профилю (pH 8.6–9.1).

Органопрофиль (AH и AU) общей мощностью до 25 см представлен гумусированным хорошо оструктуренным зернисто-мелкокомковатым материалом с присутствием аморфного (перегнойного) вещества в поверхностной части; гумусовые горизонты содержат много копролитов (рис. 5g), перерыты ходами почвенной фауны и корней. Количество карбонатов в них не превышает 2.9% (рис. 3a). Морфологически они представлены окарбоначенными растительными остатками (с микроспаритовыми и спаритовыми кристаллами), а также скоплениями в виде мелких карбонатных пятен\микросегрегации) (рис. 5g).

Квазиглеевый горизонт имеет ореховатую структуру, содержит много червороин и копролитов, крупных ходов корней тростника, которые проникают до 2–3 м и более. Появляются новообразования, связанные с процессами перераспределения оксидов железа, отмечаются железистые микромодули, ожелезнение по контуру пор с сильноразложенными растительными остатками, свидетельствующими о возможности кратковременных окислительных условий (рис. 5f, 5h). Железо, переходящее в дитионит-цитрат-бикарбонатную вытяжку (Fe_d), обнаруживает здесь небольшую аккумуляцию (0.67%) по сравнению с верхними горизонтами (0.40–0.45%). Горизонт содержит устойчивые формы педогенных карбонатов (рис. 5f, рис. 5h): псевдомицелий (прожилки/трубочки/кутаны по корневым ходам), окарбоначенные растительные остатки, рассеянные кристаллы спарита. Количество карбонатных пятен/микросегрегаций в нем заметно больше, чем в вышележащих зонах профиля (горизонты AB и BCAdc).

Источниками карбонатов при дальнейшей их перекристаллизации и формировании педогенных карбонатных новообразований могут быть как исходные карбонатные породы – лёссовидные суглинки, так и сточные воды; в нижней части профиля карбонаты преимущественно являются иллювиированными из вышележащей толщи при движении сточных вод по профилю с формированием педогенных карбонатных новообразований.

На микроуровне в квазиглеевом горизонте на глубине 30–40 см отмечены фосфатные новообразования (полупрозрачные, оранжевые, часто с внутренней лучистой текстурой). Встречаются отдельные аморфные скопления, мощные фосфатные кутаны по порам (рис. 5e), а также отдельные образования (напоминающие дольки лимона), что заметно отражается на высоком содержании валового фосфора (0.21–0.24%). Это позволяет отнести *перегнойно-темногумусовые квазиглеевые почвы* наряду с почвами действующих карт (разрез LG-10-20) к сильнозафосфаченным [33]. В них обнаруживается также повышение содержания Cd в верхних горизонтах (0.17 мг/кг) по сравнению с кларком и фоном для черноземных почв; очевидно, Cd содержится в веществах, используемых в производстве сахара: в составе сточных вод и дефеката [34]. Содержание Zn, Ni, Cu и Pb во всех горизонтах *перегнойно-темногумусовых квазиглеевых почв* карт ПФ практически не отличается от фоновых.

Почвы имеют среднесуглинистый гранулометрический состав без признаков педогенной дифференциации илистой фракции. В мелкоземе всех исследованных почв преобладают фракции крупной пыли и илистой фракции. Фракции песка (1–0.25 и 0.25–0.05 мм) присутствуют в минимальном количестве, что является характерным признаком для всех исследованных почв днищ как действующих, так и заброшенных карт ПФ.

Как показал анализ эмиссии CO_2 из заброшенных карт ПФ под тростником обыкновенным, зафиксированные величины эмиссии составляют в летний период 0.17 г C (CO_2)/(м^2 ч), что в 2.5 раза меньше, чем на обводненных используемых картах [20].

II-4. Очищенные от осадков сточных вод карты полей фильтрации Льговского сахарного заво-

да, заброшенные 40 лет назад, представлены разрезом LG-01-20, так же, как вышеописанная, сформирована на экспонированном субстрате – на остаточном материале абрадированных исходных почв. Поверхность днища карты покрыта плотными порослевыми зарослями клена ясенелистного с полным смыканием крон (асс. *Acceretum negundi*). Актуальная почва имеет как унаследованные свойства, так и свойства, сформированные за последние 40 лет, из которых наиболее очевидными являются аккумуляция органического вещества, биогенное оструктуривание, фито- и зоотурбации, формирование железистых и фосфатных новообразований и дифференциация на горизонты. Формула почвенного профиля AU1-2–AUB1-2 (mc)–BCA1-4mc(q) (рис. 2d).

По WRB [52] почву можно определить как Haplic Cambisol (Alcalic, Protocalcic). Сложнее дать адекватное название почве, пользуясь ячейками современной российской классификации. По строению профиля и, учитывая водный режим карты, заполняемой время от времени дождевыми и снеговыми водами, почва наиболее близка к лугово-черноземным почвам [24], которые с некоторым приближением отвечают чернозему квазиглееватому зоотурбированному [23, 30].

Темногумусовый горизонт почвы имеет преимущественно однородный темно-серый цвет (10YR 2/2–2/3), рыхлое сложение (плотность 0.91–0.99 г/см^3, твердость 15–20 мм) и комковато-зернистую структуру (рис. 5i). Суммарная мощность темногумусовых горизонтов колеблется от 8 до 12 см, переходные AUB – до 22–35 см. Ниже лежат серовато-светло-бурые (10YR 5/3–6/3) хорошо оструктуренные, организованные в многопорядковые агрегаты, суглинистые горизонты с многочисленными следами биотурбаций и светло-буро-палевые (10 YR 5/3–10YR 5/4) аккумулятивно-карбонатные горизонты с мелкими точечными железистыми конкрециями (BCAmc,q). Признаки ожелезнения в профиле начинают проявляться уже с глубины 22 см, в форме округлых ржавых пятен и железистых кутан по ходам корней (рис. 4d).

Признаки биогенной проработки материала в профиле многочисленны и разнообразны и проникают до нижних горизонтов – биогенные поры разного размера и формы: слепышины, ходы мезофауны (сапрофагов) и корней с перемещением почвенной массы (рис. 4c), копролиты различного размера (рис. 5i), морфологии, степени сохранности, растительные остатки разной степени разложения. Особенно ярко выражено воздействие корневых систем клена ясенелистного, имеющего сильно разветвленные корни с боковыми побегами.

Содержание органического углерода в верхних горизонтах почв среднее ($C_{орг}$ 2.7%), плавно уменьшается вниз по профилю, составляя на глубине 70–80 см 1.54% (рис. 3a). По соотношению органического углерода к азоту все горизонты почв близки и обогащены азотом (C : N = 9–10). Для сравнения, соотношение C : N в гумусовых горизонтах пахотных и постагрогенных черноземов Курской области составляет 10–18, а в карбонатно-аккумулятивных горизонтах варьирует от 33 до 63 [53]. Почвы имеют сильнощелочную реакцию (pH 8.6–9.1) по всему профилю (рис. 3a). По значениям pH они отличаются от фонового чернозема, в котором кислотно-щелочные условия изменяются по профилю от слабокислых до щелочных [46, 54].

Содержание карбонатов высокое (9.9–11.0%) во всех горизонтах профиля (рис. 3a), в то время как фоновые почвы бескарбонатны в пределах гумусовых горизонтов до глубины 80 см. При мезо- и микроморфологических исследованиях установлено обилие карбонатных новообразований в разных формах по всему профилю; псевдомицелий (прожилки/трубочки/кутаны по корневым ходам) отмечается с глубины 22 см (рис. 4e, 5j). Аккумулятивно-карбонатный горизонт содержит, помимо пропиток и псевдомицелия, скопления (карбонатные пятна/микросегрегации) и рассеянные спаритовые кристаллы (рис. 4f). Горизонты BCA в исследуемых и природных почвах [46, 54] содержат сходные формы педогенных карбонатов.

По гранулометрическому составу почвы сохраняют свойства лёссовидного суглинка: они в основном тяжелосуглинистые иловато-крупнопылеватые (табл. 4), без признаков дифференциации по профилю илистой фракции.

Анализ эмиссии CO_2 из неиспользуемых карт ПФ под плотными зарослями клена ясенелистного показал, что ее скорость значимо не отличается от фоновых ландшафтных аналогов, составляя в летний период 0.08 г C–CO_2/(м^2 ч) [19].

Высокую скорость почвообразования, формирование близких к черноземам почв за короткий период (40 лет), прошедший после экспонирования погребенных под осадком сточных вод субстратов, можно объяснить поступившими ранее экстремально богатыми органическими и минеральными ресурсами, благоприятным водным режимом без застоя влаги, продуктивными растительными покровами, занимающими карты после их забрасывания, активной деятельностью биоты. Тем не менее, возможно, требуется иное, более корректное классификационное предложение, учитывая степень гумификации органического вещества, его обогащенность азотом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В районах размещения отходов сахарной промышленности формируются особые ландшафты очистных сооружений – полей фильтрации. В ак-

кумулятивных позициях искусственно созданных мезопонижений (карт), сформированных в окружении насыпных валов, по нашим наблюдениям, создается особый комплекс условий по сравнению с окружающим фоном:

1) более мощный и продолжительный снежный покров и, следовательно, более высокая температура почвы зимой (не приводим здесь метеоданные из-за короткого ряда полевых наблюдений);

2) периодическое обводнение используемых карт с дополнительным поступлением биогенных и других веществ, применяемых при переработке свеклы и рафинировании сахара;

3) широкое распространение гидрофильных и гигрофильных растительных сообществ, нехарактерных для фоновых лесостепных ландшафтов Центрального Черноземья, в которых доминируют мезофиты и ксеромезофиты;

4) почвообразующими субстратами на ПФ служат многокомпонентные отходы сахарной индустрии и трансформированные сточными водами карбонатные лёссовидные суглинки и/или нижние горизонты черноземных почв.

По своим свойствам, составу и генезису они отличаются от всех известных почвообразующих пород и во многом являются новыми объектами для изучения процессов почвообразования с известным нуль-моментом. Все это делает ПФ специфическими объектами особого техногенного ландшафта, представляющими интерес для изучения почвообразования.

В этих ландшафтах формируется широкий спектр почв техногенного и постехногенного рядов, нехарактерных для природных фоновых почв. В пространстве эти почвы формируют отличный от исходного почвенный покров, сложность и контрастность которого связана с разнообразием геоморфологических условий, почвообразующих субстратов, циклами обводнения-высыхания карт полей фильтрации, особенностями растительных покровов, а также использованием карт после забрасывания, в частности, под пашню и огороды.

Почвы имеют определенную приуроченность к разным элементам карт ПФ и, следовательно, разные морфологические и аналитические свойства.

Исследованные почвы постлитогенного ствола почвообразования относятся к 4 отделам:

1) *слаборазвитых почв* на валах, перекрытых дефекатом, где выделяются (пелоземы техногенные на артииндустрате);

2) *органо-аккумулятивных почв* на межсекционных валах на природном материале (темногумусовые типичные почвы на органолитострате);

3) *квазиглеевых почв* в днищах используемых карт (перегнойные, перегнойно-гумусовые квазиглеевые почвы) и заброшенных не очищенных от осадков карт (темногумусовые техногенные арти-стратифицированные), в которых сочетаются свойства постлитогенных почв и некоторые — синлитогенных; к этому отделу отнесены и (перегнойно)-темногумусовые квазиглеевые почвы с яркими признаками биотурбаций в заброшенных очищенных от осадков днищах карт, формирующиеся в условиях повышенной влажности;

4) *аккумулятивно-гумусовых почв* в заброшенных очищенных от осадков картах (квазиглееватые черноземы) под покровом древесных видов с доминированием клена ясенелистного в условиях переменно-влажного режима увлажнения.

Процессы привноса твердофазного и/или хемогенного материала, гидрогенный метаморфизм в условиях щелочной среды, ожелезнение и миграция разнообразных веществ, в том числе легкорастворимых солей (сульфатов) более активно протекают в почвах действующих карт, а процессы метаморфизма органического и минерального вещества, оструктуривание и турбации, связанные с деятельностью биоты и корней, доминируют в почвах заброшенных карт.

По сумме признаков или их отдельным сочетаниям формирующиеся почвенные тела в картах ПФ не имеют прямых природных аналогов в Центральном Черноземье. Щелочные и сильнощелочные, обогащенные органическим веществом, карбонатами, фосфатами, питательными элементами и рядом тяжелых металлов почвы на отходах сахарной индустрии являются ярким примером экстремальных почв, развивающихся при избытке ресурса под воздействием сахарной индустрии [11, 12]. Помимо специфических морфо-химических свойств почвы днищ ПФ характеризуются и особенным функционированием, связанным с повышенным уровнем среднегодовой эмиссии парниковых газов и активностью микробиоты [20].

Полученные результаты указывают, что в дальнейшем можно выделить отдельную “разновидность экстремальности” для почв, формирующихся под воздействием высококонцентрированных сточных вод предприятий разных отраслей пищевой промышленности (*техно-гидро-экстремальные*) и имеющих определенную специфику поведения во времени.

С точки зрения классификации наземных экосистем карты ПФ можно считать антропогенными экосистемами аккумулятивного типа с дополнительной вещественно-энергетической “дотацией” со сточными водами, дефекатом и транспортерно-моечным осадком. Отдаленными аналогами таких экосистем в природе, уходящих под воду с той или иной периодичностью, являются, в частности, пойменные заливные луга, аласные понижения на мерзлоте и марши аккумулятивных берегов морей [13, 15, 28, 45].

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-0502 5мк (полевые работы, морфологические и аналитические исследования), а также в рамках темы государственного задания Института географии РАН № АААА-А19-119022190169-5 (FMGE-2019-0006) (классификация и диагностика почв, географические аспекты исследования).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андроханов В.А., Куляпина Е.Д., Курачев В.М.* Почвы техногенных ландшафтов: генезис и эволюция. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. 151 с.
2. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
3. *Балабко П.Н., Славянский А.А., Головков А.М., Хуснетдинова Т.И., Черкашина Н.Ф., Карпова Д.В., Костарев И.А., Выборова О.Н.* Эффективность применения дефеката на дерново-подзолистой почве при выращивании картофеля // Проблемы агрохимии и экологии. 2012. № 3. С. 23–25
4. *Балабко П.Н., Хуснетдинова Т.И., Карпова Д.В., Славянский А.А.* Применение отходов свеклосахарного производства при выращивании картофеля на дерново-подзолистых почвах Московской области // Агрохимический вестник. 2014. № 6. С. 22–25.
5. *Басов Ю.В., Гуляева К.Н.* Влияние осадков сточных вод на агроэкологические показатели почв // Вестник аграрной науки. 2015. № 3. Т. 54. С. 67–71.
6. *Беляева Л.И., Лабузова В.Н., Остапенко А.В., Скрипко Е.М.* Технологические вспомогательные средства в производстве сахара: от локальных технологий применения к интегрированным // Сахар. 2017. № 3. С. 23–27
7. *Брагина П.С., Герасимова М.И.* Почвообразовательные процессы на отвалах горнодобывающих предприятий (на примере юга Кемеровской области // География и природные ресурсы. 2014. № 1. С. 45–51.
8. *Будыкина Т.А., Франтова В.В.* Очистка транспортерно-моечных вод сахарного завода // Вестник Рос. ун-та Дружбы народов. Сер. Инженерные исследования. 2011. № 2. С. 27–30.
9. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
10. *Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
11. *Горячкин С.В.* География экстремальных почв и почвоподобных систем // Вестник Российской академии наук. 2022. Т. 92. № 6. С. 564–571.
12. *Горячкин С.В., Мергелов Н.С., Таргульян В.О.* Генезис и география почв экстремальных условий: элементы теории и методические подходы // Почвоведение. 2019. № 1. С. 5–19.
13. *Губин С.В., Лупачев А.В.* Подходы к классификации почв аккумулятивных берегов морей восточного сектора Российской Арктики // Почвоведение. 2022. № 1. С. 25–32.
14. *Девятова Т.А., Яблонских Л.А., Алаева Л.А., Белик А.В., Негробова Е.А., Румянцева И.В.* Водно-солевой режим черноземов Центрально-Черноземного региона // Аридные экосистемы. 2015. Т. 21. № 4(65). С. 54–60.
15. *Десяткин Р.В.* Почвы аласов Лено-Амгинского междуречья. Якутск: ЯФ СО АН ССР, 1984 168 с.
16. *Джувеликян Х.А.* Экологическое состояние природных и антропогенных ландшафтов Центрального Черноземья. Автореф. ... докт. биол. наук. Петрозаводск. 2007. 50 с.
17. *Ермакова Н.В., Будыкина Т.А.* Техногенное воздействие сахарного завода на окружающую среду // Изв. Юго-Западного гос. ун-та. Сер. Техника и технологии. 2012. № 2. С. 176–179.
18. *Желязко В.И.* О пригодности сточных вод предприятий агропромышленного комплекса для удобрительного орошения // Вестник Белорусской гос. с./х. академии. 2018. № 1. С. 122–130.
19. *Замотаев И.В., Грачева Р.Г., Конопляникова Ю.В., Долгих А.В., Карелин Д.В., Тельнова Н.О., Добрянский А.С.* Неизвестные почвы районов воздействия сахарной промышленности // Почвы – стратегический ресурс России: тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сыктывкар, 2020–2022 гг.). Ч. 2. М.–Сыктывкар: ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2021. С. 226–227.
20. *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.
21. *Зубов М.Г., Гетманский А.С.* Очистка сточных вод сахарных заводов при сезонном режиме работы // Сахар. 2017. № 5. С. 2–4.
22. *Карлова Е.В.* Развитие экономически эффективных побочных производств предприятий сахарной промышленности. Автореф. дис. ... канд. экон. наук. Курск, 2013. 22 с.
23. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
24. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
25. *Кольцова О.М., Стекольникова Н.В., Житин Ю.И.* Отходы свеклосахарного производства и их использование в сельском хозяйстве // Вестник Воронежского гос. аграрного ун-та. 2018. № 4(59). С. 52–58.
26. *Курбатова А.Н.* Техногенная трансформация компонентов ландшафтов малых городов Центрального Черноземья (на примере г. Льгова Курской области). Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2017. 23 с.
27. Мониторинг природных экосистем Центрально-Черноземного заповедника // Тр. Центрально-Черноземного гос. заповедника. 2021. Вып. 20. 411 с.
28. *Орешникова Н.В., Красильников П.В., Шоба С.А.* Маршевые почвы Карельского берега Белого моря //

Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2012. № 4. С. 13–20.

29. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. 103 с.
30. Полевой определитель почв России. М., 2008. 182 с.
31. *Поливанова Т.В., Уваркин А.В., Фролов К.А., Поливанова С.А.* Управление осадками транспортерно-моечных вод сахарного производства – важнейшая экологическая проблема // Известия Юго-Западного государственного университета. 2014. № 1. С. 125–129.
32. Природно-антропогенные геосистемы центральной лесостепи Русской равнины / Отв. ред. А.М. Грин, Л.И. Мухина. М.: Наука, 1989. 276 с.
33. *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.
34. *Пузанова Л.Н.* Агроэкологическая оценка и сельскохозяйственное использование субстрата очистных сооружений свеклосахарных заводов: на примере ОАО “Сахарный комбинат “Льговский”. Автореф. дис. ... канд. с-х. наук. Курск, 2009. 19 с.
35. *Пузанова Л.Н., Сысоева Т.И.* Поля фильтрации – потенциальные земли сельскохозяйственного назначения // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия. Сб. докл. Междунар. науч.-пр. конф. Курского отд. МОО “Общество почвоведов им. В.В. Докучаева”. Курск, 2019. С. 319–321.
36. *Самойлова Е.М.* Луговые почвы лесостепи. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 284 с.
37. *Самофалова И.А.* Химический состав почв и почвообразующих пород: учебное пособие. Пермь, 2009. 130 с.
38. *Славянский А.А.* Промышленное производство сахара. М., 2015. 255 с.
39. *Спичак В.В., Базлов В.Н., Ананьева П.А., Поливанова Т.В.* Водное хозяйство сахарных заводов. Курск, 2005. 167 с.
40. *Тютюнник Ю.Г.* Виробничий ландшафт і його демутація. К.: ІЕЕ НАН України, 2021. 142 с.
41. *Тютюнник Ю.Г., Губарь Л.М., Пашкевич П.В., Гончаренко И.В.* Почвы промышленных площадок и их экологическая демутация (на примере сахарных заводов) // Биосфера. 2019. Т. 11. № 2. С. 63–74. https://doi.org/10.24855/biosfera.v11i2.482
42. *Филатов С.Л., Думченков В.М., Петров С.М., Подгорнова Н.М., Басаргин Н.А.* Механическое обезвоживание осадка транспортерно-моечной воды свеклосахарного производства ленточными фильтр-прессами // Сахар. 2020. № 1. С. 32–37.
43. *Шамаев О.Е., Можарова Н.В., Кулачкова С.А.* Газогеохимическое состояние и экологические функции почв полей фильтрации через 30 лет после рекультивации // Российский журн. прикладной экологии. 2017. № 2. С. 25–30.
44. *Щеголькова Н.М., Диа В., Криксунов Е.А., Рыбка К.Ю.* Фито-системы для очистки сточных вод: современное решение экологических проблем // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2015. № 2. С. 50–59.
45. *Deegan L.A., Johnson D.S., Warren R.S., Peterson B.J., Fleeger J.W., Fagherazzi S., Wilfred M., Wollheimet W.M.* Coastal eutrophication as a driver of salt marsh loss // Nature. 2012. V. 490. № 7420. C. 388–392. https://doi.org/10.1038/nature11533. PMID: 23075989
46. *Gerasimova M.I., Bronnikova M.A., Khitrov N.B., Shorkunov I.G.* Hierarchical morphogenetic analysis of Kursk chernozem // Dokuchaev Soil Bull. 2016. № 86. P. 64–76. https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-86-64-76
47. *Gracheva R.G., Zamotaev I.V., Belonovskaya E.A., Konoplianikova Yu.V., Dobryanskiy A.S.* Newly formed soils of the sugar industry treatment facilities and invasion of Acer Negundo (Chernozem zone of Russia) // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 817. 2021. P. 1–7. https://doi.org/10.1088/1755-1315/817/1/012037
48. https://docs.cntd.ru/document/499036854
49. https://docs.cntd.ru/document/550318827
50. https://ifc.org/wps/wcm/connect/a00d4ad7-6783-4df0-b73a-c3e51fb83162/Sugar+-+Russian+-+Final_.pdf?MOD=AJPERES&CVID=nPtjv0h
51. http://rossahar.ru/
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. *Kalinina O., Krause S.E., Giani L., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I.* Self-Restoration of Post-Agrogenic Chernozems of Russia: Soil Development, Carbon Stocks, And Dynamics of Carbon Pools // Geoderma. 2011. V. 162. P. 196–206. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.02.005
54. *Kovda I.V., Bessudnov A.A., Bessudnov A.N., Bronnikova M.A., Chepalyga A.L., Filatova T.D., Gerasimova M.I. et al.* Paleosols, pedosediments and landscape morphology as archives of environmental evolution. Guidebook for field excursions: XIIth International symposium and field workshop on paleopedology (ISFWP). M., 2013. 116 p.
55. *McMahen K., Anglin L., Lavkulich L.M., Grayston S.J., Suzanne W. Simard S.W.* Small-volume additions of forest topsoil improve root symbiont colonization and seedling growth in mine reclamation // Appl. Soil Ecology. 2022. № 180. 104622. https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104622
56. *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) 2021. V. 265. P. 03009. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20212603009
57. *Tordoff G.M., Baker A.J.M., Willis A.J.* Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes // Chemosphere. 2000. V. 41. P. 219–228. https://doi.org/10.1016/S0045-6535(99)00414-2

Soil Formation on Sugar Industry Waste in the Central Chernozem Zone

I. V. Zamotaev[1, *], R. G. Gracheva[1], Yu. V. Konoplianikova[1], A. V. Dolgikh[1], D. V. Karelin[1], E. A. Belonovskaya[1], A. S. Dobryansky[1], and P. V. Mikheev[1]

[1]Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia
[2]Erisman Federal Scientific Center for Hygiene, Mytishchi, 141014 Russia
**e-mail: zivigran@rambler.ru*

Soils formed in treatment facilities of sugar beet factories in the forest-steppe zone of the Kursk region were studied. The technogenic factors of soil formation associated with the industrial sugar beet activity, and post-technogenic processes, acting during the abandonment of treatment facilities, are considered. The alternation of settling ponds and the earth walls separating them is the main factor determining the kind of "cellular" pattern of the soil cover. The mode of inflow and discharge of wastewaters, their composition, as well as the duration of the abandonment of settling ponds determine the specifics of the soils formed in the bottoms of the ponds. In operating settling ponds, under the periodic impact of sewage mixed with other wastes, dark-humus quasigleyic soils are developed (Calcaric Gleysol). When ponds are abandoned with previously removed calcareous sewage sludge (press mud), in the presence of perched water dark-humus quasigleyic soils (Gleyic Cambisol) are formed in 30 years; and in conditions of a variable-humid regime, quasigleyic zooturbated Chernozems are formed in 40 years. In settling ponds with preserved sewage sludge abandoned 20 years ago, soil formation has been noticeably active only in the upper 10–15 cm; below, the properties of the layered sediment are retained. Dark-humus technogenic arti-stratified soils are identified here (Spolic Technosols). On the earth walls, dark-humus typical soils (Eutric Cambisols (Organotransportic) are formed in 70 years; on the surfaces covered with calcareous sewage sludge, underdeveloped highly alkaline technogenic pelozems (Spolic Technosols (Transportic) are identified, in which the mixed material of technogenic sediments remains practically unchanged. All soils are alkaline and strongly alkaline, rich in organic matter, carbonates, phosphates, nutrients and some heavy metals from wastewater. According to the combination of properties and characteristics, the soils of the sugar industry treatment facilities have no direct natural analogues in the Central Chernozem region and are a vivid example of soils developing under extreme conditions of "resource excess".

Keywords: technogenesis, wastewater, infiltration fields, pedofeatures, Cambisols, Gleysols, Technosols