

## ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.483

### ФОРМИРОВАНИЕ И ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ САХАРНОЙ ИНДУСТРИИ (ОБЗОР)

© 2022 г. И. В. Замотаев<sup>а</sup>, \*, Р. Г. Грачева<sup>а</sup>, П. В. Михеев<sup>б</sup>, Ю. В. Конопляникова<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт географии РАН, Старомонетный пер., 29, Москва, 119017 Россия

<sup>б</sup>Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана Роспотребнадзора,  
Семашко, 2, Мытищи, Московская обл., 141014 Россия

\*e-mail: zivigran@rambler.ru

Поступила в редакцию 04.02.2022 г.

После доработки 03.03.2022 г.

Принята к публикации 05.03.2022 г.

Приводится обзор современных представлений о почвообразовании на выведенных из эксплуатации полях фильтрации сахарных заводов, а также тенденциях изменения свойств почв при применении отходов в земледелии в качестве органических удобрений в разных природно-климатических зонах. Рассматриваются физико-химические и биологические свойства почв, сформированных на разных элементах полей фильтрации в черноземной зоне России. На межсекционных валах на материале, извлеченном из прудов-отстойников (карт, чеков) в процессе их сооружения, формируются темногумусовые типичные почвы; в случаях, когда валы перекрыты твердыми отходами сахарных заводов (дефекатом), выделены пелоземы техногенные. В пределах днищ заброшенных карт на осадках сточных вод выделяются стратоземы техногенные темногумусовые; при механическом удалении техногенного осадка через 30–40 лет формируются (перегнойно)-темногумусовые гидрометаморфизованные почвы с яркими признаками биотурбаций. По сравнению с фоновыми черноземами в почвах днищ карт наблюдаются обилие органических остатков, увеличение щелочности, содержания элементов питания, ожелезнение, формирование фосфатных и карбонатных новообразований, загрязнение кадмием и цинком, повышенные уровни среднегодовой эмиссии парниковых газов. Внесение отходов сахарного производства (щелочного дефеката и сильноокислого свекловичного жома) в чистом виде или в сочетании с удобрениями рассматривается как один из приемов биологизации земледелия. Однако по сравнению с контрольными вариантами, это не всегда приводит к улучшению показателей почв и повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

*Ключевые слова:* новообразованные почвы, свеклосахарное производство, сточные воды, поля фильтрации, утилизация отходов, Cambisols, Fluvisols, Technosols

DOI: 10.31857/S0032180X22080159

#### ВВЕДЕНИЕ

Сахарная промышленность занимает важнейшее место в структуре агропромышленного комплекса России. Сахарная свекла фабричная выращивается в 25 субъектах страны (2020 г.). Основные ее посевы сосредоточены в Центральном (51.0%), Южном (около 23%) и Приволжском (23.2%) федеральных округах; незначительная часть (2.8%) находится в Сибирском федеральном округе (в Алтайском крае). По данным официального сайта Союза сахаропроизводителей (по состоянию на 2020 г.), производство сахара включает 74 действующих свеклоперерабатывающих предприятия, из которых 34 находятся в Центральном Черноземье [101]. На заводах ежегодно перерабатывается более 40 млн т сахарной свеклы. В процессе ее переработки на сахар образуется большое количество отходов и вторичных продуктов различного состава и

свойств: сточные воды, фильтрационный осадок (дефекат), свекловичный жом, меласса (патока), транспортно-мочный осадок, отсеб известняка и др. На большинстве предприятий отходы не используются и выводятся на очистные сооружения (пруды-накопители, поля фильтрации), промышленные площадки и отвалы. При сложившихся объемах переработки сахарной свеклы на сахарных заводах России ежегодно образуется около 9 млн м<sup>3</sup> сточных вод, 2.3 млн т транспортно-мочных осадков, 3.0–4.0 млн т дефеката, 31 млн 855 тыс. свекловичного жома [19, 56, 58, 63, 87, 89, 93].

История развития свеклосахарного производства в России, которому уже более двухсот лет, и многие аспекты технологии получения сахара, хранения и утилизации отходов рассматриваются в монографии Спичака и Остроумова [76]. В си-

стеме агропромышленного комплекса свеклосахарные заводы являются крупнейшими потребителями водных ресурсов, используя ежегодно на производственные цели около 10,0 млн м<sup>3</sup> воды, в среднем до 20 т воды различного качества на 1 т свеклы [68, 74, 93, 94]. Средние показатели водопотребления для отечественной сахарной отрасли оцениваются около 200–300%, водоотведения – 250–350% от массы свеклы [62].

Множество работ посвящено воздействию свеклосахарного производства на окружающую среду [5, 10, 18, 21, 24, 69, 86, 96]. От сахарных заводов в атмосферный воздух поступают жомовая, сахарная и известковая пыль, оксиды углерода и азота и др. Поля фильтрации (ПФ) являются источниками газов в атмосферу, в том числе парниковых (СО<sub>2</sub> и СН<sub>4</sub>), что может влиять на здоровье людей и экологическую обстановку в близлежащих населенных пунктах [43, 75, 108]. Воздействию сточных вод с ПФ подвергаются не только территории размещения отходов, но и компоненты сопредельных транзитных склоновых, суперкальных и аккальных ландшафтов (почвы, растительность, поверхностные и подземные воды, донные отложения). В подземных водах отмечают повышенные содержания соединений азота и фосфора, превышение ПДК по жесткости воды, содержанию железа и марганца [7, 17, 18, 21, 25, 27, 48, 51, 69]. Загрязнение почв может происходить в местах разгрузки и хранения сырьевых материалов – известнякового и доломитового камня, угля, элементной дисперсной серы [58, 84, 85].

Особое внимание уделяется составу и свойствам сточных вод – “экологическому проклятию сахароварения” – их зависимости от перерабатываемого сырья (сахарной свеклы, сахара-сырца, сахарного тростника), а также технологиям усовершенствования биологической очистки сточных вод как в естественных условиях – на ПФ, сельскохозяйственных полях орошения и биологических прудах с высшей водной растительностью, так и искусственных устройствах с помощью микроорганизмов [6, 8, 17, 22, 30, 31, 33, 37, 46, 49, 74, 92, 106, 107]. Отходы сахарного производства могут использоваться в биоэнергетике [60, 72, 88], как сырье для получения других видов продукции (кирпича, пенобетона, цемента, адсорбентов, спирта, глицерина и др.), в качестве органических удобрений и компостов, для известкования кислых почв и рекультивации нарушенных земель [1–3, 13, 19, 20, 25, 28, 29, 34, 38, 39, 41, 54, 60, 64–67, 69, 78, 79, 81, 88, 90, 95, 97, 98, 103–105].

Несмотря на большой интерес к исследованиям почв и ландшафтов, образующихся на различных промышленных отходах, публикации о почвах и ландшафтах, формирующихся в пределах очистных сооружений сахарных заводов, единичны. В России и в других сахаропроизводящих странах

эти объекты оказались за пределами внимания почвоведов, экологов и других специалистов. В этой связи стоит отметить работы Тютюнника с соавт. [82–85], посвященные комплексному анализу различных производственных ландшафтов, действующих и исторических свеклосахарных заводов Украины. Авторы выделили почвы, сформированные на заброшенных промплощадках производственных зон, отнеся их к “индустриоземам”, эмбриоземам и техноземам. Однако собственно трансформация почв под воздействием отходов сахарного производства в этих работах не рассматривается.

Немногочисленность и неполнота исследований побудили к рассмотрению результатов техногенеза на производственных территориях сахарных заводов, используя почвенно-генетический подход. Работа основана на обзоре публикаций с привлечением некоторых собственных материалов, прежде всего, по изучению почв, выведенных из эксплуатации (заброшенных) ПФ в черноземной зоне. Кроме того, охарактеризованы особенности трансформации свойств почв на пахотных землях в результате внесения отходов свеклосахарного производства в зависимости от определенных природных и антропогенных факторов.

#### ПОЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ САХАРНЫХ ЗАВОДОВ КАК ОСОБЫЙ ТИП ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЛАНДШАФТА

Для естественной биологической очистки сточных вод сахарных заводов используются очистные сооружения, обычно называемые полями фильтрации. Они занимают при предприятии от 70 до 250 га и наряду с сырьевой и заводской структурно-функциональными зонами рассматриваются как неотъемлемая составная часть “индустриальной геосистемы”, или “индустриально-ландшафтной зоны сахарного производства” [59, 83].

ПФ обычно находятся на значительном расстоянии от заводов и представляют собой сеть выемок – карт (называемых также чеками), разделенных межсекционными земляными валами высотой до 3–4 м с различными техническими (функциональными) элементами (трубопроводы, железобетонные трубчатые водовыпуски, распределители и оросители для подачи сточных вод и др.). Размеры карт зависят от рельефа местности, общей рабочей площади очистных сооружений и др. Отношение ширины карты к ее длине обычно находится в пределах от 1 : 2 до 1 : 4. Например, площадь ПФ Львовского сахарного завода (Курская область) составляет 175 га, ширина карт варьирует от 30 до 80 м, длина – от 60 до 300 м.

ПФ имеют своеобразную чековую структуру, не характерную для вмещающей природной территории. По конфигурации выделяют несколько

типов структур: полигональную, регулярную, линейную, меандроподобную, радиально-кольцевую, параллелограмную [83]. Это хорошо видно на снимках, получаемых со спутников, и с помощью беспилотных летательных аппаратов в сахаропроизводящих регионах [99].

В большинстве случаев ПФ размещаются в плакорных условиях, занимая выровненные водораздельные поверхности и участки речных террас; иногда их размещают в поймах рек и даже на искусственно террасированных склонах речных долин и балок [83]. В частности, ПФ Пенского сахарного завода в Курской области располагаются на второй надпойменной террасе р. Сейм, Льговского на водораздельной поверхности рек Бык и Опока, сложенной четвертичными отложениями. Днища карт размещаются выше окружающей местности (от 3 до 40 м), что обеспечивает свободный дренаж и предотвращает длительный застой воды.

Карты ПФ действуют в режиме периодического заполнения сточными водами и осушения. Перед распределением по картам стоки отстаиваются в прудах-накопителях (стабилизационных прудах), где в анаэробных условиях деятельность метанообразующих бактерий способствует осветлению сточных вод, сбраживанию жирных кислот, разложению органических загрязнителей на 40–60% [70]. По завершении производства карты частично или полностью очищают от осадка и подготавливают к повторной эксплуатации; некоторые из них заброшены. В частности, заброшенные в 1990–2000-х гг. карты сахарных заводов в Курской области (Льговский, Пристенский, Пенский) в настоящее время частично используются под стихийное складирование твердых бытовых и строительных отходов, как карьеры по добыче строительных материалов. Отдельные отработанные и неочищенные от осадков карты ПФ периодически распахиваются под огороды.

#### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И СОСТАВ СТОКОВ, ОТВОДИМЫХ НА ПОЛЯ ФИЛЬТРАЦИИ

Сточные воды, образующиеся в процессе производства сахара, в зависимости от степени загрязнения подразделяются на 3 категории. Сточные воды I категории (для охлаждения сатурационного газа, барометрическая вода, паровые конденсаты) и II категории (транспортно-мочные воды), как правило, используются вторично в оборотных системах и не отводятся на ПФ. По данным на 2005 г. [74], на 76 заводах РФ применяли обратную схему водоснабжения вод I и II категорий (с использованием градирен, радиальных, вертикальных и секционных отстойников различных типов), 24 завода использовали

только секционные отстойники и технологические пруды для охлаждения вод I категории.

Состав техногенных потоков, поступающих на ПФ заводов за сезон переработки сахарной свеклы (средняя продолжительность 110 дней), формируется за счет смешения высококонцентрированных сточных вод III категории, которые включают диффузные, жомопрессовые, хозяйственно-бытовые, сточные воды от салфетомоек и газопромывателей и др., с разбавленными фильтрационным и транспортно-мочным осадками [74]. После отстаивания на фильтрах и промывания 5-кратным количеством воды твердый осадок (defecate lime, filter cake) выводится в дефекатные отвалы вблизи и/или на валах по периметру карт, откуда отфильтрованная вода самотеком поступает на ПФ [70, 73].

**Состав производственных сточных вод сахарных заводов.** Специфика воздействия на среду и почвы на ПФ заключается в привносе со сточными водами широкого спектра геохимически активных веществ, в первую очередь минеральных взвесей, хлоридов, сульфатов, фосфатов, нитритов, нитратов, соединений кальция, магния, а также поверхностно-активных веществ и нефтепродуктов. Кроме основных компонентов, в сточных водах могут присутствовать применяемые в производстве сахара техногенные вещества (известняк, известь, антикипины, ПАВ, пеногасители и др.), остаточное количество пестицидов и патогенные микроорганизмы [4, 6, 80, 109].

Изучение свойств и состава сточных вод в зависимости от перерабатываемого сырья, используемой воды и технологии производства в сахаропроизводящих регионах РФ и других стран, в последние годы проводилось многими исследователями. Например, сточные воды сахарных заводов Алтайского края характеризуются щелочной реакцией (рН 7.8), высоким содержанием органических веществ (химическое потребление кислорода 2852 мг O<sub>2</sub>/л), невысоким содержанием взвешенных веществ (252 мг/л) и средней минерализацией (2.47 г/л) [80]. Содержание азота в них составляет 40.5 мг/л, фосфора – 14.2 мг/л и калия – 69 мг/л. Общей особенностью сточных вод сахарных заводов Краснодарского края является высокая концентрация в их составе взвешенных (7430 мг/л) веществ, низкое содержание соединений азота (0.02–0.05 мг/л) и фосфора (0.1 мг/л), наличие свекловичного сапонина – органического вещества из группы гликозидов, токсичного для живых организмов, в частности для озерной лягушки *Rana Ridibunda* Pal. [9, 91].

Наши исследования [99, 108] показали, что сточные воды, которые в настоящее время выводятся на ПФ Льговского сахарного завода, имеют характерный гнилостный запах, нейтральную реакцию, высокое содержание аммиака и солей ам-

мония (4.9 мг/дм<sup>3</sup>), соединений железа (7.8 мг/дм<sup>3</sup>) и марганца (1.74 мг/дм<sup>3</sup>), дефицит нитритов (0.01 мг/дм<sup>3</sup>) и нитратов (0.1 мг/дм<sup>3</sup>). Биохимическое потребление кислорода 586 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> свидетельствует о том, что в отработанных сточных водах присутствует большое количество органических соединений. Перманганатная окисляемость сточных вод (9.8–10.4 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) – один из наиболее информативных показателей антропогенного загрязнения вод органическими соединениями – в 2 раза больше, чем у питьевой воды.

Несмотря на существенное обеззараживание производственных вод, проводимое на заводе, в стоках фиксируется значительное количество бактерий, о чем свидетельствует общее микробное число (при 37°C равное 1600–4000 КОЕ/мл), в 16–40 раз превышающее нормативы для питьевой воды – интегральный санитарный показатель, отражающий общее содержание мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов в 1 мл воды.

Еще один компонент техногенных отходов, поступающих на ПФ в составе сточных вод – фильтрационный осадок (сахарный дефека́т) – образуется в процессе очистки диффузионного сока в результате взаимодействия “несахаров” с известью и CO<sub>2</sub> – сатурационным газом [70, 73]. Он относится к категории “отходы известняка и доломита” и, согласно “Федеральному классификационному каталогу отходов”, имеет пятый класс опасности (“опасные свойства отсутствуют”). Стоит отметить, что по результатам биотестирования с помощью семян кресс-салата, а также ракообразных, зеленых водорослей и простейших, осадок соответствует более высокому четвертому классу токсичности [44].

Дефека́т имеет щелочную и сильнощелочную реакцию среды, содержит очень большие количества карбонатов кальция и магния (40–80% на сухое вещество), 10–30% органического вещества (для сравнения в навозе 21%), 0.2–0.7% азота, 0.5–0.7% фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 0.2–0.7% калия (K<sub>2</sub>O), до 0.2% железа, 0.0007–0.0008% меди, 0.005–0.75% марганца, 0.0035–0.025% молибдена [8]. В органическую часть дефека́та входят белки, пектиновые вещества, кальциевые соли, кислоты (шавелевая, лимонная, яблочная и др.), сахароза. Все указанные соединения встречаются в почвах и относятся в большинстве своем к биологически разлагаемым соединениям. При поступлении в почву они участвуют в биохимических процессах и способствуют повышению плодородия. Кроме того, в дефека́те присутствует широкий спектр тяжелых металлов [29, 100]. По оценкам [15, 18, 38, 40] превышение нормативных показателей в дефека́тах сахарных заводов Центрального Черноземья может достигать для Zn до 1.8, Ni – 7.0.

Pb – 3.3, Cd – 5 раз, что ограничивает возможность их применения в сельском хозяйстве.

После многоуровневой очистки транспортно-мочные воды (II категория) возвращаются в технологический процесс, а суспензия осадка в разбавленном виде (влажность 93–98%) выводится на ПФ. Осадок примерно на 93.4% состоит из гумусированного мелкозема, который налипает на корнеплоды сахарной свеклы и выносятся из агросерых почв и агрочерноземов в период уборки культуры, что является одной из актуальных экологических проблем в свеклосеющих регионах [6, 57, 68, 93]. В этой связи отметим, что в настоящее время большое внимание уделяется разработке технологий эффективной очистки корнеплодов сахарной свеклы [45].

Специальные исследования, проведенные на ряде сахарных заводов, показали [93], что в гранулометрическом составе осадков преобладающими являются фракции 0.05–0.005 мм (крупная пыль – 36.9% и средняя пыль – 23.4%). Более крупные частицы, как правило, выносятся в связи с особенностями гидродинамического режима в отстойниках (при высоких скоростях воды). Среди оставшейся части осадка (около 7%) обломки и бой корнеплодов, ботва, мезга, корешки, кожура и другие примеси.

Очистка сточных вод на ПФ происходит в результате их фильтрации через почвенно-грунтовую толщу, испарения, образования биопленки и последующего окисления органических соединений, сорбции загрязняющих веществ на органико-минеральных частицах, их ассимиляции растениями, почвенными животными и др. [33, 43, 55, 74].

После прекращения эксплуатации ПФ карты, как правило, очищают от осадка и подготавливают к повторной эксплуатации. Также карты могут быть заброшены как в очищенном, так и в неочищенном состоянии. В последнем случае в картах ПФ накапливаются значительные объемы органико-минерального материала, представляющие собой намытые тонкослоистые почвообразующие субстраты, которые можно отнести к техногенным поверхностным образованиям. Мощность аккумулятивной толщи колеблется значительно в зависимости от гидрологического режима, длительности использования карт и рядом других более частных причин [83]. Например, по нашим данным на ПФ закрытого Пенского сахарного завода в Курской области за период функционирования карт с 1973 по 2001 г. образовалась толща слоистых осадочных отложений мощностью от 190 до 320 см.

При механическом удалении органико-минеральных отложений (высохших осадков) на дневную поверхность выходит трансформированная под воздействием минерализованных сточных вод нижняя часть почвенного профиля или природные субстраты, на которых после прекраще-

ния использования карт и поселения растительности развиваются новые посттехногенные почвы.

### ПОЧВЫ ПОЛЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ САХАРНЫХ ЗАВОДОВ

Почвы и техногенные поверхностные образования территорий размещения отходов сахарных заводов сравнительно недавно вошли в круг объектов почвенно-генетических исследований. Обобщение литературных данных [48, 62, 64, 77, 82, 83] и собственные исследования [26, 99, 108] позволили выделить на выведенных из эксплуатации ПФ сахарных заводов в черноземной зоне России (Львовский, Пенский, Пристенский заводы, Курская область) основные группы почв на поверхности межсекционных валов и днищ карт, различающиеся по особенностям факторов и специфике почвообразования. Названия почв даны по Классификации и диагностике почв России [35] с авторскими дополнениями и по международной классификации WRB [102]. Следует особо отметить, что найти корректные аналогии между классификациями в данном случае не всегда удается.

**Почвы насыпных валов**, созданных в начале 50-х годов прошлого столетия, разделены на два типа, тесно связанных с характером субстрата. На валах, сложенных механической смесью органоминерального материала фоновых природных черноземных почв и лёссовидного суглинка, извлеченной из карт под разреженными зарослями клена американского (ассоциация *Aceretum negundo*), сформированы *темногумусовые типичные почвы* (AU–(AB)–C), относящиеся к отделу органо-аккумулятивных. По международной классификации [102] в зависимости от наличия или отсутствия вторичных карбонатов и других диагностических признаков эти почвы можно отнести к группам Cambisols или Phaeozems с дополнительным квалификатором Transportic. На валах, сложенных известковым техногенным материалом – дефекатом, под высокотравьем и тростниковыми зарослями с порослью клена американского (ассоциация *Cannabio–Atriplicetum nitentis*) формируются *пелоземы техногенные* (W–C (TCH)) из отдела слабозвитых почв, или Spolic Technosols (Alcalic, Calcic, Calcaric, Immissic), согласно [102]. Пелоземы отличаются от темногумусовых почв большим содержанием карбонатов (52.7–65.5% CaCO<sub>3</sub> – “дефекатная карбонатность”), органического углерода (7.8–13.6% C<sub>орг</sub>) за счет обилия дисперсных органических остатков, соотношением органического углерода к общему азоту (C/N 27–40).

Процессы почвообразования на валах из материала природного происхождения проявляются в метаморфизме органического вещества, дифференциации профилей по переорганизации твер-

дой фазы субстратов (биогенное оструктуривание), содержанию мелкозема/пылеватых частиц, карбонатов (вскипание от HCl), плотности (0.96–1.05 г/см<sup>3</sup>) и твердости (10–20 мм). Последние указывают на рыхлое состояние сформировавшегося темногумусового горизонта по сравнению с нижележащим органо-литостратом. Этому способствуют активные фито- и зоотурбационные процессы, обусловленные обилием корней и деятельностью почвенной мезофауны.

**Почвы заброшенных карт полей фильтрации.** В днищах осушенных неочищенных карт на отходах сахарного производства, зачастую под крапивой (*Urtica dioica*) развиты *стратоземы темногумусовые остаточно-карбонатные* мощностью до 180–220 см. Особое своеобразие этим почвам придает ярко выраженная слоистость – чередование органо-минеральных темно-серых с коричневым оттенком и светло-палевых преимущественно известковых прослоев вследствие цикличности поступления сточных вод в период функционирования карт. По существу, это сочетание педогенеза с седиментогенезом (*аккумулятивно-седиментационная модель педогенеза*). По механизму формирования они сходны с аллювиальными почвами: как и при формировании пойменных почв (естественном синлитогенном почвообразовании) почвы растут вверх, не оставляя в глубине погребенные профили. Курбатовой [48] подобные почвы в днищах недействующих с середины 90-х гг. карт ПФ Львовского сахарного завода под тростником обыкновенным (*Phragmites australis*) отнесены к *стратоземам темногумусовым карбонатным глееватым*. В Классификации и диагностике почв СССР [36] этим почвам частично соответствуют внеклассификационные выделы мощных искусственно-аккумулятивных почвогрунтов. Украинские ландшафтоведы в наиболее влажных позициях отстойников сахарных заводов под тростником (*Phragmites australis*) и манником (*Glyceria maxima* (Hartm.) Holmb.) выделяют “*дефекатно-болотные*” почвы с хорошо выраженной слоистостью профиля [83, 84]. Согласно классификации [102], эти почвы можно отнести к Calcaric Fluvisols (Alcalic, Technic). При этом основная особенность данных почв – их техногенный генезис – уходит на второй план. Точнее было бы отнести их к Technosols, однако слоистость как квалификатор отсутствует в этой реферативной группе почв. Spolic Technosols (Alcalic, Calcic, Calcaric, Immissic) формируются в сухих днищах карт на механической смеси известковых и органических отходов.

Почвы щелочные (pH 8.2–8.5) по всему профилю, высококарбонатные (от 22% в верхних горизонтах до 39.8% в нижних). В силу технологических причин обеспеченность почвы органическим веществом (2.42–3.57%; отношение C/N = 10) и питательными элементами в верхней части профилей

(0–20 см) высокая. Содержание подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) в верхней части профилей (0–20 см) 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 [64]. Для сравнения, в окружающих ПФ агрочерноземах (условно фоновых) количество питательных элементов значительно меньше: 155.1, 91.8 и 43.1 мг/кг соответственно.

В темногумусовых и стратифицированных горизонтах почв обращает на себя внимание высокая аккумуляция кадмия (0.17–0.33 мг/кг; кларк – 0.09 мг/кг) и незначительная цинка (47–62 мг/кг; кларк – 75 мг/кг; фон – 44 мг/кг) по сравнению с фоновыми черноземными суглинистыми почвами Курской биосферной станции (Медвенский район). Это связано с повышенным содержанием микроэлементов в субстрате очистных сооружений (дефекате) [48, 64]. Содержание никеля (17–30 мг/кг; кларк – 50 мг/кг; фон – 30 мг/кг), Cu (17–28 мг/кг; кларк – 27 мг/кг; фон – 20 мг/кг) и Pb (12–17 мг/кг; кларк – 17 мг/кг; фон – 25 мг/кг) в стратоземах карт ПФ практически не отличается от фоновых.

В пределах днищ заброшенных карт, из которых удалены производственные осадки, на нижних горизонтах черноземов и/или карбонатных лёссовидных суглинках, испытавших химическое воздействие сточных вод в период функционирования очистных сооружений, за 30–40 лет под тростником обыкновенным (*Phragmites australis*) развиваются (*перегнойно*)-темногумусовые *фитозоотурбированные гидрометаморфизованные почвы*. Они обладают специфическими физико-химическими характеристиками и своеобразной морфологией и не вполне укладываются в ячейки Классификации почв России [35]. Согласно [102], почвы можно определить как Follic Cambisols (Alcalic, Protocalcic, Oxiaquic). Отметим ряд свойств, общих для новообразованных почв: 1) верхние горизонты отличаются интенсивной прокраской гумусом; им свойственна хорошая оструктуренность, рыхлость сложения, признаки активной деятельности биоты и относительно небольшое количество артефактов (строительно-бытового мусора), обилие виноградных улиток (*Helix pomatia*) на поверхности; 2) по сравнению с окружающими черноземами в этих почвах наблюдаются увеличение щелочности ( $pH_{H_2O}$  достигает значений 8.6–9.1), содержания органического углерода (4–10%), питательных элементов (NPK), формирование железистых (пятна, точечные выделения, кутаны по порам), фосфатных (кутаны, инфиллинги, скопления;  $P_{вал} = 0.31–0.36\%$  сильнозафосфаченные) и карбонатных (псевдомицелий, пропитки, выцветы и др.) новообразований в различных формах, повышенные уровни среднегодовой эмиссии парниковых газов (0.464–1.445 г С ( $CO_2$ )/(м<sup>2</sup> ч)), что свя-

зано с разложением органического вещества сточных вод и осадков, обусловленном активностью микробиоты.

По нашим данным [108] численность микроорганизмов в почвах днищ ПФ под тростником обыкновенным (*Phragmites australis*) больше, чем в фоновых аналогах. При этом микробиологические процессы деструкции органического вещества протекают с высокой интенсивностью в основном за счет бактерий ( $1.9–4.8$ )  $\times 10^6$  КОЕ/г при незначительной численности актиномицетов и особенно микромицетов (плесневых грибов), составляющей <100 КОЕ/г.

Минимальное количество микромицетов и актиномицетов на фоне численности остальных групп микроорганизмов может быть связано с повышенной влажностью на ПФ в момент отбора образцов. Мицелиальный тип роста и развития этих микроорганизмов является приспособлением к обитанию в твердофазном субстрате и предполагает функционирование организмов в аэробных условиях, что может быть причиной их низкой активности при периодическом подтоплении карт ПФ.

Только для олиготрофов (не требовательных к элементам питания и характеризующих заключительные этапы сукцессий микроорганизмов), присутствующих в поверхностном горизонте почвы под тростником обыкновенным (*Phragmites australis*), насыщенным растительными остатками разных степеней разложения, численность зафиксирована на одном уровне по сравнению с фоновыми природными и агрогенными почвами.

## ТРАНСФОРМАЦИЯ СВОЙСТВ ПОЧВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОТХОДОВ САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Трансформация почв под воздействием дефеката.** Перспективным направлением восстановления плодородия почв является использование известково-содержащих отходов промышленности и в особенности дефеката как мелиоранта и нетрадиционного органического удобрения (**НОУ**). Установлено, что по влиянию на почву дефекат равноценен стандартной известковой муке, а в тонко-размолотом состоянии превосходит ее [54]. Вегетационные опыты по применению дефеката (“дефекационной грязи”) как удобрения проводились в первой половине прошлого века, их результаты в целом оценивались как позитивные [12, 47]. Более поздние исследования показали, что при необоснованно широком, без учета климатических, почвенных и региональных особенностей, внесении дефеката в “чистом виде” отмечается не только отсутствие положительного действия на продуктивность культур, но в ряде случаев угнетение растений и даже “известковый

хлороз” – перевод железа в составе белка хлоропластов, отвечающего за синтез хлорофилла, в малодоступное состояние [52]. Наиболее эффективным для повышения плодородия почв оказывается внесение дефеката в сочетании с минеральными удобрениями на пахотных дерново-подзолистых и серых лесных почвах, с органическими на черноземных [11, 16, 23, 38–40, 50, 52, 54, 65].

Приведем несколько примеров, демонстрирующих тренды изменения свойств агропочв под воздействием дефеката совместно с удобрениями в разных природно-климатических зонах. По данным [40] использование в течение трех лет дефеката в сочетании с органическими удобрениями (Воронежская область) приводит к изменению химических и биологических свойств верхних горизонтов агрочерноземных почв под разными культурами. Можно отметить увеличение рН на 0.5–0.8 ед., содержания подвижного фосфора на 5.0–12.2% и органического вещества на 5.3–7.9% по сравнению с контролем. Происходит повышение биологической активности на 5.8–9.3% и незначительное увеличение численности дождевых червей (люмбрицидов до 25–28 шт./м<sup>2</sup>) и их биомассы на 1 м<sup>3</sup> (до 23.7–25.9 г/м<sup>2</sup>).

Внесение дефеката сахарного завода с. Черемное (15 т/га) в сочетании с минеральными удобрениями (N60P60K60) приводит к изменению физических свойств деградированных суглинистых пахотных серых лесных почв Бия-Чумышского междуречья (Алтайский край) уже через 3 месяца. Содержание агрономически ценных агрегатов 2–5 мм увеличивается до 20%, водостойчивых с 29.2 до 36.8%, плотность сложения пахотных горизонтов снижается с 1.46 до 1.24 г/см<sup>3</sup> – оптимального значения для накопления и сохранения влаги, произрастания озимой ржи и картофеля [32, 50]. Степень насыщенности основаниями возрастает с 67–69 до 88–89%. Изменяется и почвенный климат. В пахотном горизонте (0–20 см) по сравнению с контролем повышаются температуры, увеличивается теплопроводность (с  $269 \times 10^6$  до  $389 \times 10^6$  м<sup>2</sup>) и температуропроводность (с 468 до 534 Вт/(м К)). Одновременно с повышенной теплообеспеченностью пахотных почв наблюдается уменьшение численности грибной микрофлоры и накопление бактерий, актиномицетов и целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Существенные изменения свойств пахотных горизонтов отмечаются в окультуренных дерново-подзолистых почвах Московской области [3] при внесении дефеката Золотухинского сахарного завода (3 т/га) вместе с минеральными удобрениями (N100P120K120). Данные по агрегатному составу указывают на процессы восстановления структуры почв, характеризующейся хорошей аэрацией и другими благоприятными для расте-

ниеводства свойствами. Содержание агрономически ценных агрегатов размером 0.25–10 мм увеличивается с 64.5% на контроле до 70.7% в варианте с дефекатом. Коэффициент структурности, как показатель сохранности в почве агрономически ценных агрегатов, возрастает в 1.3 раза. Происходят изменения в составе и величине поглощающего комплекса окультуренных дерново-подзолистых почв. Уменьшается обменная кислотность (рН<sub>КС1</sub> увеличивается с 5.8 до 6.3), что является оптимальным для произрастания картофеля. Гидролитическая кислотность уменьшается с 2.10 до 1.62 смоль(экв)/кг почвы, сумма обменных оснований достигает 33.15 смоль(экв)/кг (средняя). Наряду с изменением свойств ППК происходит накопление бактерий, использующих органический и минеральный азот, уменьшается численность грибной микрофлоры в 2 раза по сравнению с контрольным вариантом.

В приведенных примерах, по мнению авторов, внесение дефеката в сочетании с минеральными удобрениями на пахотных дерново-подзолистых и серых лесных почвах и с органическими удобрениями на черноземных нарушает стабильность почв и приводит к изменению не только лабильных свойств (рН, карбонатный профиль), но и трансформации структуры, гумусового профиля, ППК, теплообеспеченности и биотического комплекса верхней части профилей.

**Трансформация почв под воздействием свекловичного жома.** Свекловичный жом (СЖ) в свежем и сушеном виде используется в качестве корма для сельскохозяйственных животных, сырья в пищевой промышленности (производство пектинов, добавок и т.д.). В настоящее время он рассматривается как исходный материал для получения биогаза и вермикомпостирования [13, 60, 63, 66, 72]. После извлечения сахарозы в СЖ остается 18–23% сухих веществ, около 80% которых полисахариды, включающие 22–24% (от сухого вещества) целлюлозы, 24–32% гемицеллюлозы, 15–32% пектиновых веществ [71]. В небольших количествах содержатся белок (8–11%), жиры (1–2%) и лигнин (3–6%). Согласно “Федеральному классификационному каталогу отходов”, свекловичный жом относится к пятому классу опасности. Однако результаты биотестирования с помощью высших растений показывают, что при длительном хранении в ямах или на открытых площадках СЖ становится более токсичным отходом третьего класса опасности из-за уксуснокислого и маслянокислого брожения [61].

Сведения о влиянии сильноокислого СЖ (рН 4.53–4.65) на изменение свойств почв немногочисленны и противоречивы. Технология применения жома предполагает перемешивание определенного его количества с пахотным слоем почвы в различных сочетаниях, то есть получение

субстратов с заданным соотношением компонентов. Доказана реальность и достоверность подкисления, особенно черноземов выщелоченных, при внесении под основную обработку в норме 100 т/га [53, 81]. Наряду с подкислением известны случаи увеличения содержания общего азота, подвижного фосфора и обменного калия, а также запасов продуктивной влаги в агроценозах картофеля, сои и томата. Лабораторно-вегетационными опытами установлено, что включение в состав субстрата (на основе гумусированного материала темно-серой лесной почвы) СЖ на фоне дефеката способствует увеличению фитомассы опытной культуры – озимой ржи [81] – и активизации целлюлозоразрушающих микроорганизмов [11]. Однако отмечается, что увеличение дозы отхода >500 г/кг почвы приводит к значительному уменьшению зеленой массы озимой ржи.

В качестве НОУ в агроценозах все шире применяются различные смеси и компосты на основе дефеката и жома для уменьшения почвенной кислотности, улучшения минерального питания растений, усиления микробиологической активности почвы, повышения урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур. Исследования показали высокую эффективность применения жомодефекатного компоста с добавлением микробной закваски, вытяжки из целинного чернозема, биогумуса на черноземах типичных [42] и компостированной удобрительно-мелиорирующей смеси из дефеката Сотницинского сахарного завода Рязанской области, торфа и соломы в соотношении 1 : 3 : 1, а также микробных препаратов на деградированных дерново-подзолистых и торфяных почвах [34, 89].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экологические проблемы при традиционной переработке сахарной свеклы для получения сахара связаны с образованием большого количества отходов, потреблением энергии и воды. Очистка сточных вод большинством заводов осуществляется на ПФ, занимающих площади в сотни гектаров. В настоящее время в стране создан научно-теоретический и прикладной аппарат по организации ПФ, накоплен огромный опыт по мониторингу их экологического состояния, выяснена роль сточных вод и осадков в загрязнении подземных и поверхностных вод, атмосферного воздуха; оценен потенциал вторичного использования (утилизации) отходов переработки сахарной свеклы в биоэнергетике, как НОУ, для рекультивации нарушенных земель. Вместе с тем крайне мало внимания уделяется почвам, их свойствам, развитию, оценке эколого- и газогеохимического состояния и опасности загрязнения токсикантами в районах размещения полей фильтрации. Почвенно-генетические и ландшафтно-

геохимические исследования на территориях размещения отходов расширят представления о разнообразии, географии и классификации “экстремальных” почв [14], развивающихся “при избытке ресурса” под воздействием сахарной индустрии. Эти исследования необходимы для составления и корректировки крупномасштабных почвенных и ландшафтных карт регионов сахарной промышленности, уточнения классификации почв, развитых на индустриальных отходах, а также разработки способов рекультивации заброшенных очистных сооружений и введения их в хозяйственный оборот.

К настоящему времени описаны ключевые физико-химические и биологические свойства почв днищ заброшенных карт ПФ, формирующихся на осадках сточных вод сахарных заводов в черноземной зоне России, оценено их эколого-геохимическое состояние. Однако сведения о новообразованных почвах днищ после их выведения из эксплуатации и удаления осадков, а также межсекционных валов в России и других сахаропроизводящих странах единичны. Классификационная позиция щелочных и сильнощелочных, активно биотурбированных, обогащенных органическим веществом, карбонатами, фосфором почв днищ карт ПФ нуждается в уточнении.

Изменения свойств почв под воздействием отходов сахарных заводов (дефеката, транспортно-моечного осадка, СЖ, смесей и компостов на их основе) в большинстве публикаций анализируются с позиций результатов, интересующих сельскохозяйственное производство. Между тем генетико-географический подход, с учетом конкретных почвенно-ландшафтных условий и изучением почвообразовательных процессов позволит получить целостную характеристику новообразованных и трансформированных почв, выявить их влияние на окружающую среду и потенциальные возможности их рекультивации и использования.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 19-29-05025мк (концептуальное обобщение, техногенез), 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. *Алексеева Е.Н.* Эффективность дефеката // Сахарная свекла. 1975. № 3. С. 33–35.

2. Балабко П.Н., Славянский А.А., Хуснетдинова Т.И., Головков А.М., Черкашина Н.Ф., Карпова Д.В., Выборова О.Н. Использование фильтрационного осадка (дефеката) в растениеводстве // *АгроЭкоИнфо* (электронный журнал). 2013. № 1(12). С. 6.
3. 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.
4. 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.
5. Богданов Б.М., Ригер Т.В., Сапрыкина Н.В. Сахарный завод как источник загрязнения воздушного бассейна // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2000. № 1. С. 90–91.
6. Будыкина Т.А., Франтова В.В. Очистка транспортно-моечных вод сахарного завода // *Вестн. Рос. ун-та Дружбы народов. Сер. Инженерные исследования*. 2011. № 2. С. 27–30.
7. Валяльщикова А.А., Белозеров Д.А. Система мероприятий по улучшению качества подземных вод Лев-Толстовского, Лебедянского и Грязинского районов Липецкой области // *Вестник ВГУ. Сер. Геология*. 2016. № 1. С. 124–130.
8. Васильев С.М., Домашенко Ю.Е., Ляшков М.А., Матвиенко А.О., Митяева Л.А., Глуценко Ю.Ю. Анализ источников формирования сточных вод на агропредприятиях, их качественных и количественных показателей (научный аналитический обзор). Новочеркасск, 2017. 82 с.
9. Вафис А.А., Пескова Т.Ю. Реакции крови озерной лягушки *Rana Ridibunda* Pal. на воздействие сточных вод сахарных заводов // *Вопросы современной науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского*. 2009. № 2(16). С. 8–18.
10. Вентиляция, кондиционирование и очистка воздуха на предприятиях пищевой промышленности / Под ред. Е.А. Штокман. М.: АСВ, 2007. 632 с.
11. Гнеушева В.С. Оптимизация доз внесения отходов свеклосахарного производства как фактор биологизации земледелия на серых лесных почвах ЦЧЗ. Автореф. дис. ... канд. с./х. наук. Орел, 2019. 18 с.
12. Голубев Б.А., Дикусар И.Г., Лошаков М.Т. Вегетационные опыты с дефекационной грязью // *Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ*. 1928. Т. XIV. С. 18–21.
13. Голыбин В.А., Федорук В.А., Лоскутов А.Ю., Бушмин И.С. Возможности по использованию отходов свеклосахарного производства // *Сб. научн. тр. Всерос. научно-исслед. и-та овцеводства и козоводства*. 2016. Т. 2. № 10. С. 34–36.
14. 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.  
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19010040>
15. Гурин А.Г., Басов Ю.В., Гнеушева В.В. Сравнительная оценка накопления тяжелых металлов в серой лесной почве при внесении минеральных удобрений и отходов сахарного производства // *Russ. J. Agricultural Socio-Economic Sci.* 2017. № 3(63). С. 154–159.  
<https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-03.19>
16. Гурин А.Г., Гнеушев 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.  
<https://doi.org/10.15217/48484>
17. Девятова Т.А., Божко С.Н., Яблонских Л.А., Чувычкин А.Л. Влияние отраслей народного хозяйства Центрального Черноземья на загрязнение водных объектов // *Вестник ВГУ. Сер. Химия. биология. фармация*. 2015. № 1. С. 54–58.
18. Джувеликян Х.А. Экологическое состояние природных и антропогенных ландшафтов Центрального Черноземья. Автореф. дис. ... докт. биол. наук. Петрозаводск, 2007. 50 с.
19. Егорова М.И., Пузанова Л.Н., Колотовченко А.А., Бессонова Е.А., Стифеев А.И. Роль свеклосахарного производства в развитии отраслей АПК // *Вестник Курской гос. с./х. академии*. 2010. № 6. С. 48–51.
20. Ельников Д.А. Очистка сточных вод от синтетических и органических красителей отходом производства дисахаридов. Автореф. дис. ... канд. тех. наук. Пенза, 2013. 20 с.
21. 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.
22. Желязко В.И. О пригодности сточных вод предприятий агропромышленного комплекса для удобрения орошения // *Вестник Белорусской гос. с./х. академии*. 2018 № 1. С. 122–130.
23. Жеряков Е.В. Влияние дефеката на физико-химические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность сахарной свеклы // *Междунар. научн.-исслед. журн.* 2014. № 7–1(26). С. 65–67.
24. Жидких Д.В. Геоэкологическая оценка влияния предприятий пищевой промышленности на природную среду Белгородской области // *Проблемы региональной экологии*. 2007. № 6. С. 47–51.
25. Житин Ю.И., Стекольников Н.В. Приемы использования отходов производства в агроэкосистемах Центрального Черноземья. Воронеж, 2015. 218 с.
26. 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. Тез. докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сыктывкар, 2020–2022 гг.)*. М., 2021. Ч. 2. С. 226–227.
27. Зинюков Ю.М., Золотарев А.В. Структурно-иерархическая модель природно-техногенной системы

- “поля фильтрации ООО “Этанол-Спирт” – геологическая среда” как основа оптимизации ее мониторинга // Вестник ВГУ. Сер. Геология. 2012. № 1. С. 200–208.
28. *Зотов Н.И., Чернышева О.А.* Агроэкологические аспекты применения осадков сточных вод для удобрения сельскохозяйственных культур // Вісник ДонНАБА. 2005. Вип. 2(50). С. 130–139.
  29. *Зотов Н.И., Чернышева О.А.* Концептуальная модель потоков тяжелых металлов в агрофере при использовании осадков сточных вод // Вісник ДонНАБА. 2005. Вип. 6(54). С. 170–174.
  30. *Зубов М.Г., Гетманский А.С.* Очистка сточных вод сахарных заводов при сезонном режиме работы // Сахар. 2017. № 5. С. 2–4.
  31. *Зуева С.Б., Зарцына С.С., Щербаков В.И.* Экозащитные технологии систем водоотведения предприятия пищевой промышленности. СПб.: Прспект науки, 2012. 328 с.
  32. *Иванов А.Н.* Влияние дефектата на свойства, плодородие серых лесных почв Бие-Чумышского междуречья и урожайность сельскохозяйственных культур. Автореф. дис. ... канд. с./х. наук. Барнаул, 2004. 18 с.
  33. *Калимулин Р.М., Штыров А.Н., Адамян У.А., Бариева Э.Р., Серазеева Е.В.* Усовершенствование системы очистки сточных вод на предприятии сахарной промышленности // Вестник магистратуры. 2016. № 7(58). Т. II. С. 9–10.
  34. *Кирейчева Л.В., Перегудов С.В., Шилова Е.Ю.* Использование удобрительно-мелиорирующей смеси на основе отходов сахарного производства для повышения плодородия малопродуктивных почв // Агротехнический вестник. 2010. № 1. С. 22–24.
  35. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
  36. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.
  37. *Кожокару Т.Т.* Биология прудов полей фильтрации сахарных заводов Молдавии и возможности их рыбохозяйственного использования. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Кишинев, 1971. 29 с.
  38. *Кольцова О.М.* Экологический аспект в оценке использования отходов производства в качестве химических мелиорантов черноземов выщелоченных типичной лесостепи Воронежской области // Вестник Воронежского гос. аграрного ун-та. 2015. № 4 (47). С. 12–21.
  39. *Кольцова О.М., Стекольников 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.
  40. *Коноплина Е.А.* Оценка воздействия вторичных ресурсов сахарного производства на биоресурсы агроэкосистем. Автореф. дис. ... канд. с./х. наук. Воронеж, 2011. 20 с.
  41. *Корнейко Н.И.* Мониторинг кислотности пахотных почв в Белгородской области // Adv. Current Natural Sci. 2013. № 9. С. 152–155.
  42. *Кузнецов А.Е.* Экологические особенности разложения в черноземе типичном жомодефекатных компостов и их влияние на показатели продуктивности почв. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владимир, 2013. 24 с.
  43. *Кузнецов А.Е., Градова Н.Б.* Научные основы экобиотехнологии. М.: Мир, 2006. 504 с.
  44. *Кузнецов А.Е., Трутаева Н.Н., Проценко Е.П., Прусаченко А.В., Проценко А.А.* Проблемы фитотестирования малоопасных отходов свеклосахарного производства // Вестник Курской гос. с./х. академии. 2012. № 6. С. 53–56.
  45. *Кузнецов П.Н., Соловьев С.В.* Совершенствование степени очистки корнеплодов сахарной свеклы путем применения шеточного очистителя в условиях Тамбовской области // Вестник Мичуринского гос. аграрного ун-та. 2015. № 1. С. 162–167.
  46. *Кульнев В.В., Ступин В.И., Борзенков А.А.* Биологическая реабилитация сточных вод сахарных заводов методом коррекции альгоценоза // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 3. С. 16–20.
  47. *Курбатов Т.Т., Лунев Н.Г.* Смелее применять дефекационную грязь как удобрение // Сахарная промышленность. 1940. № 4. С. 24–26.
  48. *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.
  49. *Лукьянчиков Д.И.* Защита поверхностных вод Курской области от антропогенного загрязнения путем применения биологических прудов с высшей водной промышленностью. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Курск, 2012. 23 с.
  50. *Макарычев С.В.* Химическая мелиорация малоплодородных почв Алтайского края на основе региональных природных ресурсов // Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та. 2018. № 10(168). С. 68–74.
  51. *Михайлов А.В., Тейхреб Н.Я.* Образование и переработка отходов пищевой промышленности в Алтайском крае // Ползуновский Вестник. 2015. № 2. С. 59–63.
  52. *Муха В.Д., Пигорев И.Я., Ачкасов А.Л., Недбаев В.Н., Мирошнченко О.Н., Худяков С.И., Бельчиков Е.В.* Дефекат перспективное удобрение-мелиорант // Вестник Курской гос. с./х. академии. 2011. № 6. С. 47–49.
  53. *Мязин Н.Г., Кожокина А.Н.* Влияние дефектата на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и урожайность сахарной свеклы // IV Международная научн. экологическая конф. на тему: “Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства”. Краснодар, 2015. Ч. 1. С. 302–307.
  54. *Небытов В.Г., Мазалов В.И., Николаев А.В., Наумкина Т.С., Зотиков В.И.* Известкование и применение дефектата на почвах Орловской области. Орел, 2015. 56 с.
  55. *Пархомец А.П., Сергиенко В.И.* Биологическая очистка сточных вод сахарных заводов. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1984. 112 с.

56. *Поливанова Т.В., Семичева Н.Е., Поливанова С.А.* Исследование экологических проблем при проектировании и строительстве предприятий сахарной промышленности // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 3. С. 79–83.
57. *Поливанова Т.В., Уваркин А.В., Фролов К.А., Поливанова С.А.* Управление осадками транспортеромоечных вод сахарного производства – важная экологическая проблема // Известия Юго-Западного гос. ун-та. 2014. № 1. С. 125–129.
58. *Полянин А.В., Мошкевич М.Л., Карлова Е.В.* Оценка экологичности сахарной промышленности на основе уровней техногенного воздействия используемых технологий // Известия Юго-Западного гос. ун-та. 2012. № 6 (45). С. 240–245.
59. Природно-антропогенные геосистемы центральной лесостепи Русской равнины / Отв. ред. А.М. Грин, Л.И. Мухина. М.: Наука, 1989. 276 с.
60. *Протасова М.В., Миронов С.Ю., Лукьянчикова О.В., Бабкина Л.А.* Перспективные направления использования отходов сахарного производства // Auditorium. 2016. № 2(10). С. 32–41.
61. *Проценко А.А., Кузнецов А.Е., Проценко Е.П., Балабина И.П., Ермакова Н.В., Протасова М.В., Лукьянчикова О.В.* Проблемы токсичности жомовых отходов свеклосахарного производства // Проблемы региональной экологии. 2015. № 2. С. 86–89.
62. *Пузанова Л.Н., Егорова М.И.* Оценка экологичности технологий производства сахара // Хранение и переработка сельхозсырья. 2009. № 10. С. 8–11.
63. *Пузанова Л.И., Лабuzова В.Н.* Использование отходов свеклосахарного производства для повышения плодородия почв // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия. Сб. докл. Международной науч.-пр. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». Курск, 2019. С. 315–318.
64. *Пузанова Л.Н., Сысоева Т.И.* Поля фильтрации – потенциальные земли сельскохозяйственного назначения // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия. Сб. докл. Международной науч.-пр. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». Курск, 2019. С. 319–321.
65. *Рябинин А.И.* Влияние совместного внесения дефекаата с минеральными и органическими удобрениями на плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность сахарной свеклы в условиях Прихоперья Окско-Донской равнины. Автореф. дис. ... канд. с./х. наук. Саратов, 1999. 24 с.
66. *Сабетова Л.А., Девина М.В.* Направления использования вторичных отходов свеклосахарного производства // Технология пищевой и перерабатывающей промышленности АК – продукты здорового питания. 2017. № 5(19). С. 132–141.
67. *Савостина О.А., Крицкая Е.Б.* Отходы сахарного производства // Успехи современного естествознания. 2008. № 7. С. 137
68. *Салтык И.П.* Повышение эффективности функционирования свеклосахарного подкомплекса АПК: на материалах Центрально-Черноземного региона. Автореф. дис. ... докт. экон. наук. Курск, 2006. 45 с.
69. *Салтык И.П., Косулин Г.С., Болухонцева Ю.И.* Вопросы повышения эффективности функционирования свеклосахарного подкомплекса в контексте проблем вторичной переработки отходов и защиты окружающей среды // IV Международная научн. экологическая конф. на тему: “Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства”. Краснодар, 2015. Ч. 1. С. 425–430.
70. *Сапронов А.Р.* Технология сахарного производства. М.: Агропромиздат, 1986. 431 с.
71. *Семенова М.В., Рожкова А.М., Осипов Д.О., Сатрутдинов А.Д., Сеницына О.А., Рубцова Е.А., Кондратьева Е.Г., Сеницын А.П.* Подбор оптимального комплекса ферментов для гидролиза углеводов свекловичного жома // Прикладная биохимия и микробиология. 2019. Т. 55. № 6. С. 586–593.
72. *Сидак М.В.* Анализ и перспективы развития рынка глубокой переработки побочной продукции и отходов свеклосахарного производства в биотопливо и другие продукты // Сахарная свекла. 2019. № 10. С. 6–11.
73. *Славянский А.А.* Промышленное производство сахара. М., 2015. 255 с.
74. *Спичак В.В., Базлов В.Н., Ананьева П.А., Поливанова Т.В.* Водное хозяйство сахарных заводов. Курск, 2005. 167 с.
75. *Спичак В.В., Климахин Н.А.* Экология АПК: (экологические проблемы свеклосахарной промышленности) // Инж. экол. 1997. № 5. С. 38–40.
76. *Спичак В.В., Остроумов В.Б.* Развитие сахарной промышленности в России. Курск, 2010. 143 с.
77. *Спичак В.В., Ревенков О.Г., Пузанова Л.Н.* Эксплуатация и регенерация почв полей фильтрации сахарных заводов // Сахар. 2008. № 10. С. 62–64.
78. *Стекольников Н.В.* Использование вторичных ресурсов агроэкосистемах // IV Международная научн. экологическая конф. на тему: “Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства”. Краснодар, 2015. Ч. 1. С. 307–312.
79. *Сыпко А.А.* Влияние дефекаата на плодородие почвы и продуктивность гибридов // Сахарная свекла. 2010. № 8. С. 20–22.
80. *Тиньгаев А.В.* Управление использованием органических отходов в сельском хозяйстве на региональном уровне. Автореф. дис. ... докт. тех. наук. М., 2010. 45 с.
81. *Титова В.И., Ветчинников А.А., Дабахова Е.В.* Оценка возможности использования свекловичного жома в качестве удобрения при выращивании зерновых культур // IV Международная научн. экологическая конф. на тему: “Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства”. Краснодар, 2015. Ч. 1. С. 37–41.
82. *Тютюнник Ю.Г.* Виробничий ландшафт і його деградація. К.: ІЕЕ НАН України, 2021. 142 с.

83. Тютюнник Ю.Г. Цукроварні України. Індустріальна спадщина і ландшафт Київ: Інститут еволюційної екології НАН України, 2016. 330 с.
84. Тютюнник Ю.Г., Губарь Л.М., Пашкевич П.В., Гончаренко И.В. Почвы промышленных площадок и их экологическая демутиация (на примере сахарных заводов) // Биосфера. 2019. Т. 11. № 2. С. 63–74. <https://doi.org/10.24855/biosfera.v11i2.482>
85. Тютюнник Ю.Г., Пашкевич П.В., Губарь Л.М. Производственные ландшафты и их демутиация (на примере свеклосахарной промышленности Украины) // Известия Русского географического общества. 2019. Т. 151. № 5. С. 48–66. <https://doi.org/10.31857/S0869-6071151548-66>
86. Тушикова О.А. Перспективы развития свеклосахарного подкомплекса России в условиях модернизации производств и международной интеграции // Научн. журн. КубГАУ. 2013. № 93. С. 10–25.
87. Чукарина Ю.А., Зуева С.Б., Филимонова О.Н., Матющенко И.Н. Получение модифицированного сорбента из отхода сахарной промышленности // Междунар. журн. прикладных и фундаментальных исследований. 2012. № 3. С. 193.
88. Шамыраниев Ж.Д. Перспективные направления переработки вторичных ресурсов сахарной промышленности Кыргызской республики // Экономика и социум. 2017. № 5(36). С. 451–455.
89. Шилова Е.Ю. Использование отходов сахарной промышленности для повышения плодородия малопродуктивных почв. Автореф. дис. ... канд. с./х. наук. М., 2013. 21 с.
90. Шишкин А.Ф. Новые известковые удобрения: эффективность и безопасность применения. Воронеж: Изд-во Воронежского ГАУ, 2001. 316 с.
91. Шиян А.А. Экологическая характеристика озерной лягушки (*Rana ridibunda* Pall.) при обитании на полях фильтрации сахарных заводов. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2011. 21 с.
92. Шеголькова Н.М., Диас В., Криксунов Е.А., Рыбка К.Ю. Фито-системы для очистки сточных вод // Наилучшие доступные технологии водоснабжения и водоотведения. 2015. № 2. С. 50–59.
93. Филатов С.Л., Думченков В.М., Петров С.М., Подгорнова Н.М., Басаргин Н.А. Механическое обезвреживание осадка транспортерно-моечной воды свеклосахарного производства ленточными фильтр-прессами // Сахар. 2020. № 1. С. 32–37.
94. Филатов С.Л., Петров С.М., Подгорнова Н.М., Михайличенко М.С., Думченков В.М. Инновационные технологии как основа устойчивого экономического развития свеклосахарного производства // Сахар. 2020. № 8. С. 12–19.
95. Эрбаева Р.С., Чериков С.Т., Баткибекова М.Б. Физико-химические характеристики отходов сахарной промышленности, содержащих  $\text{CaCO}_3$  // Известия КГТУ им. И. Раззакова. 2012. № 26. С. 220–223.
96. Юдина В.А. Оценка воздействия на окружающую среду завода по переработке сахарной свеклы // Успехи современного естествознания. 2013. № 8. С. 62.
97. Afshar PGh, Honarvar M., Gharachorloo M., Eshratatabadi P., Bazyar B. Investigation of the Physico-Chemical Properties of Press Mud: A Sugar Industry Waste // Adv. Environ. Biol. 2014. V. 8(13). P. 1053–1058.
98. Balakrishnan M., Batra V.S. Valorization of solid waste in sugar factories with possible applications in India: A review // J. Environ. Management. 2011. V. 92. № 11. P. 2886–2891. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.039>
99. Gracheva R.G., Zamotaev I.V., Belonovskaya E.A., Konopliankova 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>
100. Gupta V.K., Jain C.K., Sharma I.A.M., Saina V.K. Removal of cadmium and nickel from wastewater using bagasse fly ash—a sugar industry waste // Water Res. 2003. V. 37. № 16. P. 4038–4044. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(03\)00292-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00292-6)
101. <http://rossahar.ru/>
102. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. № 106. Update 2015. FAO, Rome, 2015. 192 p.
103. Keshavanath P., Shvianna Gangadhara B. Evaluation of sugarcane by-product pressmud as a manure in carp culture // Bioresource Technol. Bioresource technol. 2006. V. 97. № 4. P. 628–634. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.019>
104. Khoiron Analysis of Solid Waste Management of Sugar Industry (Studies at the Sugar Industry (in East Java) // UNEJ e-Proceeding. 2018. P. 88–94.
105. Kumar S., Meena R.S., Jinger D., Jatav H. S., Banjara T. Use of pressmud compost for improving crop productivity and soil health // Int. J. Chem. Studies. 2017. V. 5. № 2. P. 384–389.
106. Kushwaha J.P. A review on sugar industry wastewater: sources, treatment technologies, and reuse // Desalination and Water Treatment. 2015. V. 53. № 2. P. 309–318. <https://doi.org/10.1080/19443994.2013.838526>
107. Meghana M., Shastri Yo. Sustainable valorization of sugar industry waste: Status, opportunities, and challenges // Bioresource Technology. 2020. V. 303. P. 122929. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122929>
108. Mikheev P., Zamotaev I., Telnova N. Microbial Features in Newly Formed Soils of Disposal Fields from Sugar Refineries // E3S Web of Conferences. APEEM. 2021. V. 265. P. 03009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20212603009>
109. Morar F., Rus D., Lung B.-L. The influence of sugar-processing effect on water in treatment plant // Procedia Technology. 2016. V. 22. P. 486–492. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.098>

## Formation and Transformation of Soils in the Areas of Sugar Industry Waste Disposal (Review)

I. V. Zamotaev<sup>1, \*</sup>, R. G. Gracheva<sup>1</sup>, P. V. Mikheev<sup>2</sup>, and Yu. V. Konopliyanikova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia*

<sup>2</sup>*Erisman Federal Scientific Center for Hygiene, Mytishchi, 141014 Russia*

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

An overview of modern concepts of technogenesis and soil formation in the decommissioned infiltration fields (IF) of sugar factories, as well as trends in soil property changes under waste use in agriculture as organic fertilizers in different natural zones is given. The physico-chemical and biological properties of soils formed on different components of IF in the Chernozem zone of Russia are considered. On the earth walls made of material extracted from settling ponds during their construction, dark-humus typical soils are formed; on the waste of sugar factories (press mud) transported to the surface of the walls, technogenic pelozems are identified. Within the bottoms of abandoned settling ponds filled by the sewage sludge, technogenic dark-humus stratozems are formed; in cases of removal of technogenic sediment, after 30–40 years, dark-humus hydrometamorphosed soils are formed with clear bioturbation. Compared to the background Chernozems, the soils of the dried bottoms of ponds show an abundance of organic residues, an increase in alkalinity and nutrients, ferruginization, the formation of phosphate and carbonate neoformations, cadmium and zinc pollution, and increased levels of average annual greenhouse gas emissions. The usage of sugar production waste (alkaline press mud and strongly acidic beet pulp) in a pure form or in combination with other fertilizers is considered as one of the methods of agriculture biologization. However, this does not always lead to an improvement in soil properties and an increase in crop yields compared to control options.

*Keywords:* newly formed soils, sugar beet production, wastewater, infiltration fields, waste using, Cambisols, Fluvisols, Technosols