

М. А. Надпорожская, Е. И. Федорос, Е. А. Трубицына, Е. В. Абакумов

ДЕЙСТВИЕ ГУМУСОВЫХ ПРЕПАРАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ АКТИВНЫХ ИЛОВ СТОЧНЫХ ВОД, НА РАСТЕНИЯ И ПОЧВУ

Введение

Дегумификация, уменьшение содержания органического вещества в почвах — одна из современных экологических проблем. Важнейшие причины дегумификации обусловлены деятельностью человека. Наиболее масштабные потери органического вещества происходят при экстенсивном ведении сельского хозяйства, когда продуктивность земель поддерживается главным образом внесением минеральных удобрений. Катастрофическая дегумификация, выражающаяся в резкой или полной потере гумуса, имеет место на нарушенных разработками полезных ископаемых территориях. Здесь могут развиваться процессы водной эрозии и дефляции, что в значительной степени замедляет восстановление почв и растительности. Восстановление растительного и почвенного покровов на отработанных карьерных и отвальных комплексах может быть ускорено мероприятиями по реставрации системы органического вещества почв. Чаще всего для этих целей используют низинный торф, как наиболее дешевое природное удобрение. Но внесение в почву торфа до восстановления растительного покрова может приводить к непроизводительным минерализационным потерям, что наглядно демонстрируют вычислительные эксперименты с применением имитационной математической модели [1]. Возможно, вследствие этой и ряда других причин, мероприятия по ремедиации территорий отработанных карьеров бывают экономически неэффективны, и их проводят не так часто [2, 3].

В то время как деятельность человека нарушает почти замкнутые биологические циклы, исчерпывая природные резервуары органического вещества одних систем, в антропогенных системах создаются избыточные запасы органических отходов, загрязняющих окружающую среду. В связи с этим становится актуальной идея искусственного замыкания нарушенных циклов углерода. Для этого необходимо органические отходы вносить на территории, где выражены процессы антропогенной дегумификации [4, 5]. Но, поскольку бытовые и техногенные отходы могут содержать вредные органические и неорганические примеси, а также могут быстро разлагаться, служа источниками поллютантов атмосферы, почвы и грунтовых вод, их нельзя применять в качестве удобрений без специальной обработки.

Одним из источников загрязнения окружающей среды являются получаемые при биологической очистке сточных вод активные илы. В Российской Федерации каждый год образуется порядка 2 млн т осадков сточных вод очистных сооружений в расчете на сухое вещество [6]. В других странах объемы этих отходов еще больше. Например, в Нидерландах ежегодный объем отработанного ила уже в 90-х гг. XX в. составлял 5,5 млн т [7]. Активный ил сточных вод (ИСВ) представляет собой хлопьевидную массу бурого цвета, обогащенную органо-минеральными веществами. Свежий ак-

тивный ил почти не имеет запаха, но при хранении начинает издавать гнилостный запах. Химический состав ИСВ видоизменяется в зависимости от характера сточных вод и других факторов. Средние значения по компонентам варьируют: рН — 5,5–6,9, С — от 20–28 до 44,0–75,8, N — от 1,6–7,0 до 3,3–9,8, P — от 0,9–3,9 до 0,3–8,0, К — 0,1–0,9 (% на сухое вещество); кроме того, Cu — 200–1600, Zn — 300–1300, Cd — 6–45, Pb — 30–350, Cr — 500–600, Ni — 52–110 (мг/кг сухого вещества) [8–10]. Отработанные илы содержат необходимые растениям микроэлементы. Илистый осадок, полученный в ходе очистки сточных вод, имеет высокую влажность (95–98%) и, как следствие, большой объем. Это является основным препятствием к применению его в сельском хозяйстве для удобрения (повышается стоимость из-за неудобства транспортировки). Осадки плохо отдают воду и относятся к категории труднофильтрующихся илистых суспензий. Поэтому основной задачей обработки осадка является уменьшение его объема за счет отделения воды и получение транспортабельного продукта [11]. В Ставропольском крае была успешно апробирована технология внесения высушенного осадка сточных вод [12]. В Англии и Швейцарии примерно половина (53 и 50% соответственно) осадков очистных сооружений используется в сельском хозяйстве в качестве удобрения [13], а в Нидерландах полезное использование ИСВ достигало 70% [7], в Люксембурге — 90%, в Германии используется 30%, а в Бельгии — 10%. В нашей стране по самым оптимистическим оценкам использование осадков сточных вод в качестве удобрения пока достигает лишь 1–6%, основная масса ила хранится на свалках промышленных отходов [10]. Применение ИСВ в качестве биологически активного удобрения ограничивается тем, что сточные воды содержат большое количество тяжелых металлов, которыми илы обогащаются в процессе совместной очистки хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод. Проблема детоксикации активных илов как потенциального ценного органического удобрения чрезвычайно актуальна.

Разработка новых экологических способов утилизации активного ила сточных вод является одной из важных проблем настоящего времени. В зависимости от степени токсичности илов, рентабельности переработки и других показателей применяются следующие методы: захоронение, вывоз на полигоны, сжигание, использование в сельском хозяйстве и др. [14]. Все способы утилизации активных илов сточных вод приводят к новым экологическим проблемам. При захоронении илов нельзя избежать выноса органических загрязнений в грунтовые воды, сложно отследить миграцию соединений тяжелых металлов. Размещение илов на полигонах приводит к отчуждению территории на суше, к тому же они способны выделять газообразные продукты разложения и загрязнять грунтовые воды, складированные илы могут размываться с поверхности. Сжигание тоже не является экологически оптимальным способом утилизации илов, поскольку происходит выброс в атмосферу CO₂, продуктов неполного сгорания, которые могут быть канцерогенами. Предлагаемые биологические способы (с помощью перевода тяжелых металлов в биомассу выращиваемых на почве или загрязненных субстратах растений) либо физико-химические способы (с применением адсорбентов минеральной или органической природы) дороги, трудозатратны и продуцируют новый объект с повышенным содержанием тяжелых металлов, тоже требующий утилизации.

Ранее был предложен метод переработки органических отходов для удаления возможных вредных примесей. Разработан метод окислительной гидrolитической

деструкции (ОГД) [15]. Согласно этому методу органическое сырье подвергается обработке в специальном промышленном реакторе при повышенных давлении и температуре. В результате процессов трансформации органических соединений илов образуется углекислый газ и небольшое количество молекулярного азота. Конечным продуктом переработки являются растворы, содержащие искусственные гумусовые вещества. При этом примеси тяжелых металлов переходят в нерастворимые формы и выпадают в осадок. В результате такой обработки активных илов сточных вод решаются сразу две задачи: очистка от вредных примесей и получение из отходов качественно новых химических соединений, обладающих новыми полезными свойствами.

Препараты гумусовых веществ, полученные из природных ресурсов (торфа, каменного угля, сапропеля) применяют в животноводстве и в сельском хозяйстве. Это направление активно развивается с середины 50-х гг. XX в., начиная с работ Л. А. Христовой, А. И. Горовой, С. А. Гуминского и др. Сельскохозяйственные растения, обработанные по листу препаратами гуматов, как правило, повышают урожайность и улучшают качество. Способ внесения в почву этой группы искусственных удобрений был предложен, но мало изучен. Недостатком искусственных гуматов является их производство из полезных ископаемых, являющихся исчерпываемым природным ресурсом. В этом плане метод ОГД, предлагающий получение гуминовых удобрений из органических отходов, особенно из активных илов сточных вод, значительно выигрывает, поскольку не истощает природные ресурсы и восстанавливает антропогенно нарушенный цикл углерода в биосфере.

Как показали наши предварительные лабораторные опыты, препараты гуминовых веществ (ГВ), полученные методом ОГД из отходов животноводства (навоза крупного рогатого скота, свиного навоза), способствуют накоплению органического вещества в почвах и увеличивают его стабильность. Было установлено, что применение гуминовых препаратов, полученных из навоза крупного рогатого скота, способствует накоплению органических соединений от 3–7% С в гумусированных почвах до 30–40% в безгумусных суглинках [4].

Применение препаратов гуминовых веществ для рекультивации нарушенных ландшафтов — перспективная, но еще мало разработанная область. Требуют изучения дозы ГВ, их экологическая и экономическая эффективность. Проблемным моментом может быть форма искусственных гуматов: натрия, калия или кальция. Наиболее целесообразно внесение гуматов кальция. Но это удорожает стоимость препарата. Самыми дешевыми являются гумусовые препараты на основе солей натрия. Но дозы их внесения следует строго контролировать. Искусственные препараты, выделенные при обработке разных субстратов, могут варьировать по физиологической активности и изменению свойств почвы.

В связи с вышесказанным целью работы была оценка влияния искусственных ГВ, полученных из активных илов сточных вод, на растения и почву в условиях лабораторных опытов. В задачи работы входило: 1) определение стимулирующего (ингибирующего) влияния на прорастание и первые этапы развития тест-растений; 2) определение оптимальных доз ГВ по влиянию на прорастание и первые этапы развития ячменя, как тест-растения; 3) оценка изменения общих свойств почвы (рН, содержания сухого остатка водной вытяжки, изменение общей микробиологической активности почвы).

Объекты и методы исследования

Для определения влияния ГВ из илов сточных вод на растения и почву применяли методику определения фитотоксичности и стимулирующего воздействия почвы (Свидетельство об аттестации методики выполнения измерений № 253.11.14.306.2006) [16]. Методика разработана научно-исследовательским центром экологической безопасности РАН, регламентирована в М-П-2005, Федеральный реестр ФР.1.39.2006.02264 и аттестована в соответствии с ГОСТ Р 8.563-96, допущена с целью государственного и экологического контроля, предназначена для работы с почвами в лабораторных условиях. Критерии токсичности или стимулирующего действия определили согласно выбранной методике: изменение всхожести семян и длины корней в контакте почвой с добавлением растворов искусственных ГВ по сравнению с контрольным вариантом (та же почва, увлажненная дистиллированной водой). Дополнительно проводили микровегетационный опыт [17]. В образцах почвы до и после опыта осуществляли контроль рН в водной и солевой вытяжках потенциометрически (ГОСТ 26423–85 [18] и ГОСТ 26483–85 [19]). Содержание общих форм азота и углерода в почве определяли методами Микрорельдаля и Тюрина в модификации Орлова—Гриндель. Контроль общей биологической активности почвы проводили аппликационным методом [20]. Математическая обработка результатов опытов произведена с использованием программы Microsoft Excel.

Материалы опыта. Почва. В опыте использовали гумусовый горизонт А₁ дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы парка «Сергиевка», Старый Петергоф (табл. 1). Разница в значениях водной и солевой суспензий в единицу рН и более свидетельствует о высокой потенциальной кислотности этой почвы. Содержание органического углерода в гумусовом горизонте довольно высокое для зональных почв тайги, но это характерно для парковых почв под широколиственными насаждениями [21]. В подгумусовых горизонтах содержание углерода органических соединений резко уменьшается. Органическое вещество определяет степень устойчивости почвы к загрязнению, ее отзывчивость на внесение удобрений и физиологически активных веществ. Органическое вещество почвы может снижать эффект действия ГВ. Для имитации меньшего содержания органического вещества в опыте образцы из горизонтов А₁ и В были смешаны (С 2,10%).

Таблица 1. Химические свойства дерново-подзолистой почвы парка БиНИИ

Образец	рН _{Н₂О}	рН _{КCl}	С, %
А ₁ *	6,2	4,2	3,15
А ₂ В	6,0	4,2	0,55
В*	5,5	3,9	0,45
ВС	5,5	4,0	0,39

* Материал этих почвенных горизонтов был использован в опытах.

Материалы опыта. Тест-растение. Использовали ячмень яровой, сорт Ленинградский, разновидность Pallidum (Шестирядный), элитный, всхожесть 98%. Семена были предоставлены Н. В. Ивановой, зав. отделом селекции и семеноводства зерновых культур, ГНУ ЛНИИСХ Россельхозакадемии, за что авторы выражают ей благодарность.

Материалы опыта. Препараты искусственных гумусовых веществ. Раствор искусственных гумусовых веществ получен методом щелочного высокотемпературного гидролиза в условиях повышенного давления из активных илов сточных вод. Для определения возможности уменьшения объема готового препарата при транспортировке исходный раствор гумусовых веществ выпарили. Сухой остаток вновь растворяли в горячей дистиллированной воде. В опыте использовали два вида раствора искусственных препаратов: 1) исходный (исх.) и 2) выпаренный до сухого остатка и вновь разведенный (суш.). Исходный раствор ГВ характеризуется темно-коричневой окраской и резким характерным запахом. Содержание плотного остатка составляет 49 г/л, величина рН 9,76, $C_{\text{общ.}}$ — 10,31 г/л, $N_{\text{общ.}}$ — 0,80 г/л, отношение C/N — 12,9. Разведение контролировали таким образом, чтобы восстановилась концентрация $C_{\text{общ.}}$.

Условия проведения лабораторных опытов. Проведено два эксперимента по методике биотестирования [2]. Опыты 1 и 2 с проростками ячменя проводили в чашках Петри, вмещающих 100 г влажной почвы. В опытах варьировали дозы вносимых ГВ. В опыте с гумусированной почвой применяли большие дозы, в опыте с почвой с меньшим содержанием органического вещества дозы гуматов уменьшали. По окончании опытов 1 и 2 определяли длину корней главного корня проростков ячменя.

Негативное и позитивное воздействие препаратов, добавленных в почву, может нивелироваться на более поздних этапах развития растений. По этой причине провели лабораторный вегетационный опыт 3: ячмень выращивали в пластиковых контейнерах, вмещающих 1200 г влажной почвы. Продолжительность опыта 3 недели. По окончании опыта определяли высоту листьев и длину корней растений ячменя, массу листьев.

Опыты проведены при температуре +25...+27 °С, при нормальном давлении (около 660 мм рт. ст.). Относительная влажность воздуха составляла около 60%. Освещение помещения — искусственно-естественное, 5000 лк. Продолжительность освещения составляла около 12 ч в сутки. Повторность всех вариантов составляла 3.

Опыт 1: стадии прорастания семян ячменя. Заложен 24.07.2011. Снят 28.07.2011. Длительность — 4 дня. На 2-й день под почву были уложены отрезки фотопленки для определения общей микробиологической активности почв. Пленки сняли вместе с проростками. Длительность экспонирования пленок — 3 дня.

Опыт 2: стадии развития первых листьев ячменя. Заложен 24.07.2011. Снят 28.07.2011. Длительность — 4 дня. На 2-й день под почву были уложены отрезки фотопленки для определения общей микробиологической активности почв. Пленки сняли вместе с проростками. Длительность экспонирования пленок — 3 дня. Опыт 2 отличался от опыта 1 понижением в почве содержания органического вещества при добавлении материала подгумусового горизонта, иллювиального ВС. Эффект влияния добавленных препаратов гумусовых веществ может проявиться тем сильнее, чем меньше гумуса содержится в почве.

Опыт 3: ранние стадии развития ячменя. Опыт 3 — микровегетационный. В опыте применяли только исходный раствор гумусовых веществ. В каждый контейнер высевали по 10 зерен ячменя, через неделю оставили по 5–7 лучших растений. Содержание органического углерода в почве составляло 2,10%. Опыт начат 3.09 и закончен 23.09.2011.

Схемы опытов 1–3 представлены в табл. 2.

Таблица 2. Условия проведения лабораторных опытов по выявлению действия препаратов ГВ из илов сточных вод на развитие проростков ячменя

№ опыта	Длительность, дни	$C_{орг.}$ в почве, %	Количество высеянных семян, всего, шт.	Добавлено раствора ГВ, % от массы почвы	Вид раствора ГВ
1	4	3,15	570	0; 2,8; 5,6; 12,0; 24,0	ГВ _{исх.} ГВ _{суш.}
2	4	2,10	570	0; 1,4; 4,0; 8,0; 12,0	ГВ _{исх.} ГВ _{суш.}
3	21	2,10	150	0; 5,0; 10,0	ГВ _{исх.}

Результаты исследования и их обсуждение

Оценка изменения всхожести семян ячменя под влиянием внесения препарата гумусовых веществ в почву. Всхожесть ячменя, взятого для опыта, по оценке семеноводов составляла 98%. В опытах 1 и 2 высеяно всего 1140 семян. Из них не проросло 24 семени, т. е. количество непроросших семян в проведенных опытах было близким к 2% от общего количества высеянных зерен ячменя, что является нормой для данного семенного материала. По вариантам опыта непроросшие семена были распределены равномерно. Из этого можно сделать вывод о том, что препараты гумусовых веществ не оказывали токсического воздействия по показателю прорастания семян.

Оценка изменения длины главного корня проростков ячменя под влиянием внесения препарата ГВ в почву. Результаты измерений длины главного корня проростков ячменя представлены на рис. 1–3. Математическая обработка результатов опытов показала, что достоверными являются различия в действии доз препаратов ГВ, начиная с 12% внесенных растворов ГВ от массы почвы. Нельзя утверждать, что в этом проявляется их токсическое влияние на проростки ячменя. Нами было отмечено ранее [7], что внесение препаратов гуматов (на основе навоза крупного рогатого скота) способствует уменьшению массы корней и соломы овса. Вполне вероятно, что масса и длина корней сокращаются до определенной величины не вследствие неблагоприятного воздействия, а в результате обогащения почвы элементами питания. При этом возрастает урожай зерна, повышается содержание белка в зерне, и в соломе увеличивается содержание лигнина. Таким образом, изученные препараты гуминовых веществ тоже обладают физиологической активностью, если судить по изменению длины главного корня проростков ячменя. Нужны дополнительные исследования для уточнения особенностей влияния данного типа ГВ.

В опытах 1 и 2 зависимость изменения длины корня от концентрации гуминовых веществ была тесной прямой обратной (см. рис. 3). Коэффициент корреляции 0,948.

В соответствии с оценкой по уменьшению длины главного корня проростков ячменя [16], препараты можно признать токсичными в слабой степени (IV) только при самых высоких дозах внесения ГВ, когда почву доводили до оптимальной влажности (60% полной влагоемкости) раствором ГВ почти без добавления дистил-

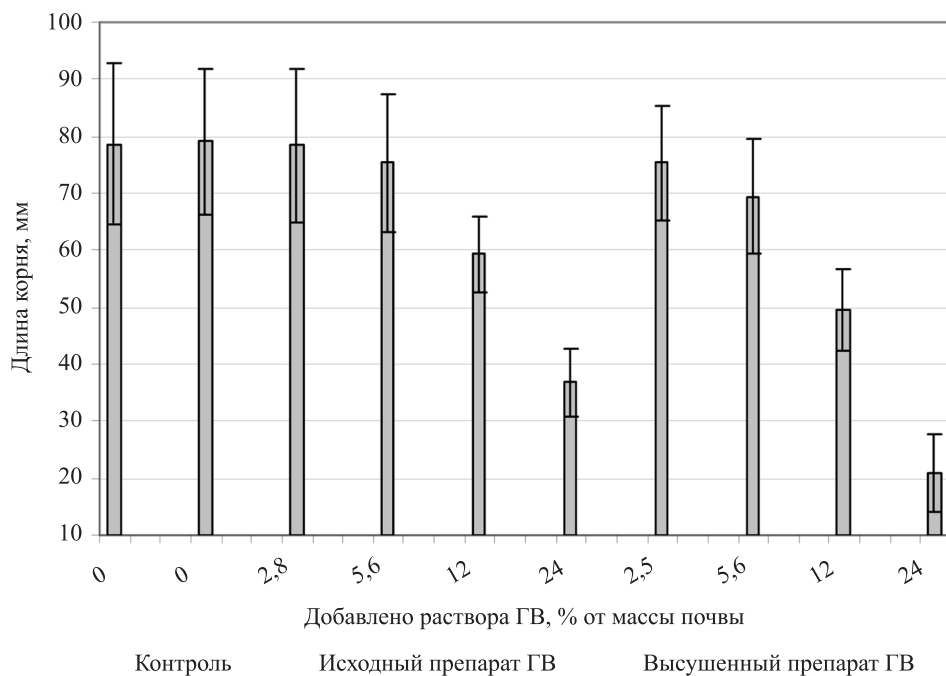


Рис. 1. Изменение длины главного корня проростков ячменя (мм)

Опыт 1. Содержание С в почве — 3,15%. Длительность опыта — 4 дня. Штрихами показаны величины стандартного отклонения Sd (то же для рис. 2, 4, 5).

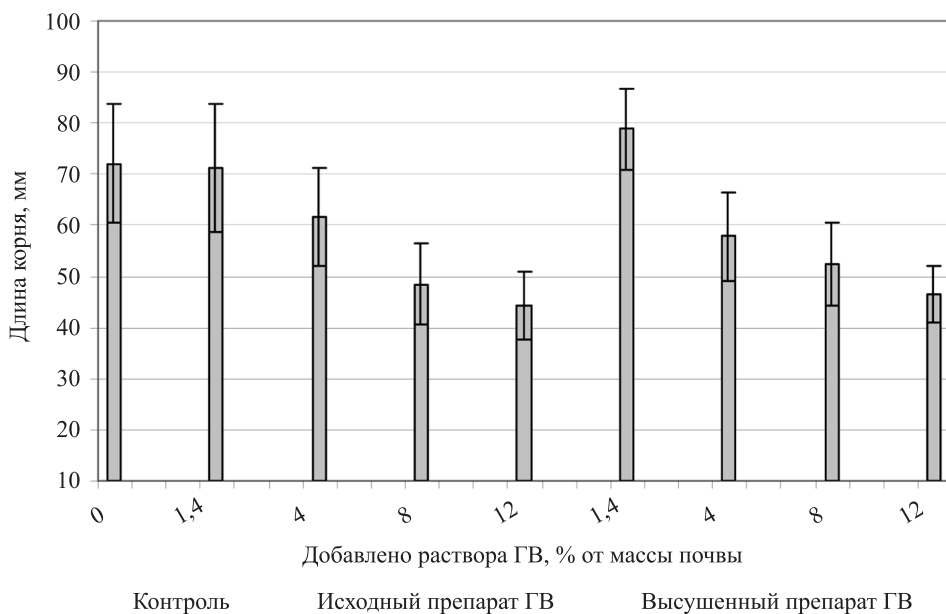


Рис. 2. Изменение длины главного корня проростков ячменя (мм)

Опыт 2. Содержание $C_{орг}$ в почве — 2,10%. Длительность опыта — 4 дня.

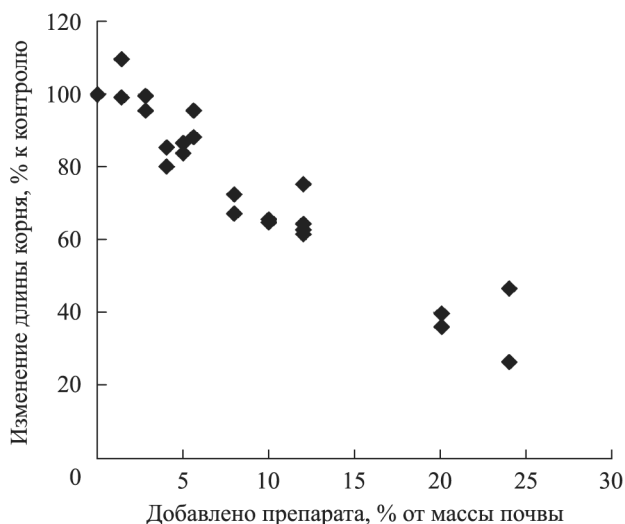


Рис. 3. Изменение длины корня проростков ячменя в зависимости от количества добавленного препарата гуминовых веществ по результатам опытов 1, 2 и 3

лированной воды (см. табл. 2). Влияние препарата исходной формы и препарата, высушенного, а затем разведенного, при высоких концентрациях отличалось незначительно — отмечено уменьшение длины корней. В малых дозах высушенный препарат проявлял тенденцию и стимулированию роста корней на ранних стадиях прорастания ячменя.

Оценка развития ячменя за 21 день под влиянием внесения препарата ГВ в почву в условиях микровегетационного опыта. Результаты, полученные в опыте 3 при более длительном выращивании ячменя (21 день), в целом подтвердили полученные ранее. Эффект уменьшения длины главного корня под действием гуматов сохранился. Имела место тенденция к увеличению длины листьев под влиянием оптимальной дозы гуматов (5%) (рис. 4).

При этом масса листьев достоверно возрастала при 5%-ном внесении растворов ГВ в почву, а масса корней показала тенденцию к увеличению при использованных в опыте дозах внесения ГВ (5 и 10%) (рис. 5).

Влияние внесения препаратов гумусовых веществ на свойства почвы. Величина рН почвы при внесении даже самых больших доз ГВ (табл. 3) изменялась, но в диапазонах значений, благоприятных для

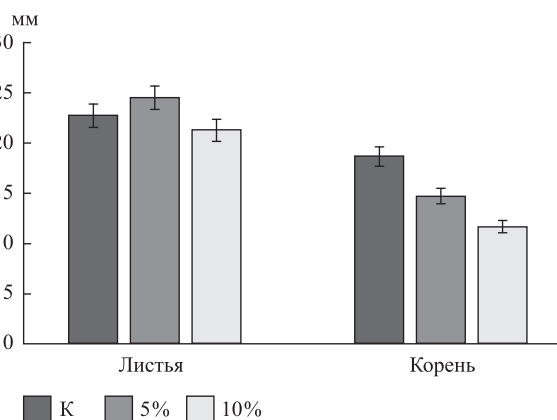


Рис. 4. Изменение длины (мм) главного корня и листьев одного растения ячменя в опыте 3

Содержание С в почве 2,10%. Длительность опыта — 21 день; К — контроль (то же для рис. 5).

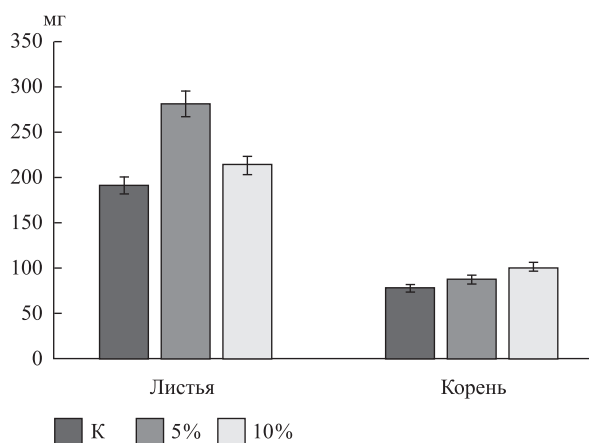


Рис. 5. Изменение средней массы корней и средней массы листьев (мг) одного растения ячменя в опыте 3

Таблица 3. Свойства почвенных компостов в конце опыта

Раствор ГВ, % от массы почвы	pH H ₂ O	Содержание легкорастворимых солей, %	Раствор ГВ, % от массы почвы	pH H ₂ O	Содержание легкорастворимых солей, %
<i>Опыт 1</i>					
Контроль	6,20	0,010			
2,8	6,30	0,010	2,8	6,47	0,011
5,6	6,40	0,013	5,6	6,68	0,017
12,0	7,06	0,030	12,0	7,16	0,035
24,0	7,60	0,070	24,0	8,00	0,088
<i>Опыт 2</i>					
Контроль	5,9	0,09			
1,4	6,37	0,010	1,4	6,10	0,010
4,0	6,54	0,017	4,0	6,63	0,020
8,0	7,11	0,032	8,0	6,95	0,028
12,0	7,80	0,043	12,0	7,23	0,046

большинства сельскохозяйственных растений. Содержание легкорастворимых солей в почве по данным водной вытяжки увеличивалось незначительно (принято считать, что негативное влияние легкорастворимых солей начинается при хлоридно-сульфатном засолении с концентрации солей выше 0,25% от массы поч-вы).

Изменение общей микробиологической активности почвы под влиянием ГВ в опытах 1 и 2. В целом вносимые препараты существенно (в несколько раз) повы-

Таблица 4. Общая микробиологическая активность образцов почв в опытах 1, 2 (оцененная по протеазной активности)

Раствор ГВ, % от массы почвы	Протеазная активность, %	Раствор ГВ, % от массы почвы	Протеазная активность, %
<i>Опыт 1</i>			
Контроль	3,4÷8,5		
2,8	2,85÷1,4	2,8	20÷4,7
5,6	28,00÷9,2	5,6	34÷9,4
12,0	35,71÷5,3**	12,0	35,71÷12,5*
24,0	58,57÷21,5*	24,0	33,71÷5,4**
<i>Опыт 2</i>			
Контроль	17,8÷8,1		
1,4	22,85÷5,9	1,4	37,71÷13,8
4,0	64,28÷15,1*	4,0	47,14÷2,3*
8,0	47,14÷2,3*	8,0	49,14÷6,2*
12,0	48,57÷6,5*	12,0	54,85÷7,6*

* $P < 0,05$.

** $P < 0,01$.

шали скорость разложения желатинового слоя на фотоленке (табл. 4). При этом в опыте 1 достоверные различия наблюдались на уровне доз 12–24% от массы почвы, а в опыте 2 — начиная с дозы 4,0% от массы почвы.

Выводы

В ходе проведенных лабораторных опытов было установлено, что

1) ГВ, полученные методом ОГД из отходов (активных илов сточных вод):

а) по показателю прорастания семян не оказывали токсического воздействия на тест-растение;

б) обладают физиологическим действием, выражающимся в дозозависимом уменьшении длины корней проростков (коэффициент корреляции показателей доза—эффект равен 0,948);

в) дозы ГВ, составляющие более 12% от массы почвы, обладают токсическим действием на выбранную тест-модель, если судить по уменьшению длины главного корня проростков;

г) растения ячменя 21-дневного срока развития в условиях микровегетационного опыта показали увеличение высоты и массы листьев под действием оптимальной дозы раствора ГВ (5%). При этом на фоне сокращения длины главного корня, выражена тенденция к увеличению общей массы корней ячменя при дозах ГВ 5% и 10%.

2) ГВ при внесении во всем изученном диапазоне доз не изменяли рН H_2O и содержание легкорастворимых солей в почве до неблагоприятных для роста растений значений.

3) ГВ обладают выраженным свойством повышать микробиологическую активность в образцах почв; при этом оптимальными дозами являются средние (от 4 до 10%

от массы почвы), под действием высоких доз (от 15 до 20% от массы почвы) эффект ослабевает.

4) В микровегетационных опытах ГВ обнаруживают тенденцию к увеличению длины и массы листьев проростков ячменя в средней дозе (5% от массы почвы).

Таким образом, исходя из результатов проведенных исследований, препараты ГВ из активных илов сточных вод можно признать перспективными к применению для ремедиации нарушенных добычей полезных ископаемых территорий, где на поверхности депонируются безгумусовые или малогумусные суглинистые отложения. С гуматами в почву поступают относительно устойчивые к микробному разложению и физиологически активные по отношению к растениям и почве органические вещества, что может ускорить накопление биомассы растений. В соответствии с проведенными экспериментами, стартовой дозой для дальнейших исследований внесения ГВ в загрязненные грунты может быть выбрана доза 5% от массы почвы, как обладающая оптимальным физиологическим действием на растения и микроорганизмы и относительной безопасностью для почв. Апробированная методика определения фитотоксичности показала высокую стандартность и сходимость получаемых результатов и в дальнейшем может быть адаптирована в качестве экспресс-метода контроля качества ГВ при условии дополнения ее методами оценки суммарной биологической активности почв и контроля их качества по основным физико-химическим параметрам. Ремедиация почв и грунтов — сложный процесс, который требует разработки специальных способов биологической и биохимической коррекции системы «почва(грунт) — растение». Проведенные исследования выявили положительный эффект от внесения вещества-ремедианта (ГВ) в модельный объект (почву), но требуют дальнейшего изучения.

* * *

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы, государственный контракт № 16.512.11.2161».

Литература

1. *Надпорожская М. А., Абакумов Е. В., Чертов О. Г.* Оптимизация рекультивации нарушенных земель промышленных карьеров с использованием математической модели динамики органического вещества почв ROMUL // Вестн. Самарск. науч. центра РАН. 2009. Т. 11, № 1 (7). С. 1533–1539.
2. *Капелькина Л. П.* Экологические аспекты оптимизации техногенных ландшафтов. СПб.: ПРОПО, Наука, 1993. 191 с.
3. *Абакумов Е. В., Гагарина Э. И.* Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на Северо-Западе Русской равнины. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006. 208 с.
4. *Федорос Е. И., Надпорожская М. А., Шипов В. П., Чертов О. Г.* Препараты гуминовых веществ для сельского и городского хозяйства — использование для рекультивации и реабилитации почв // Сб. трудов БиНИИ «Фундаментальные основы инновационных биологических проектов в Наугограде». 2008. № 54. С. 179–203.
5. *Nadporozhskaya M., Fedoros E., Shipov V.* Artificial humic substances as possible compensators of the destroyed links in carbon cycle // From molecular understanding to innovative applications of humic substances / proceedings of the 14th International Meeting of the International Humic Substances Society. 2008.

6. Мазур И. И., Молдаванов О. И., Шишов В. Н. Инженерная экология: общий курс: в 2 т.: учеб. пособие для вузов // Теоретические основы инженерной экологии. М.: Высшая школа, 1996. Т.1. 637 с.
7. Krause R. Die Technologie der Verwertung der Kanalisationsablagerungen in der Landwirtschaft // Korrespond. Abwasser. 1986. Bd 33, N 8. S. 696–672.
8. Лучицкая О. А., Севостьянов С. М. Воздействие осадков сточных вод на почву и растения // Агрохимия. 2007. № 9. С. 80–84.
9. Кириллов М. В., Асонов А. М. Защита окружающей среды от загрязнений тяжелыми металлами с использованием природных сорбентов // Вестн. ЧитГУ. 2010а. № 1 (58) С. 25–32.
10. Кириллов М. В., Асонов А. М. Перспективы использования активных илов станций аэрации в качестве органических удобрений // Аграрный вестник Урала. 2010б. №2 (68). С. 43–45.
11. Яковлев С. В., Карелин Я. А., Жуков А. И., Колобанов С. К. Очистка производственных сточных вод: учеб. пособие. М.: Стройиздат, 1975. 320 с.
12. Симиренко В. И., Асеева Л. И. Влияние илового осадка сточных вод на рост и развитие ячменя // Применение удобрений микроэлементов и регуляторов роста растений в сельском хозяйстве. Ставрополь, 1989. С. 31–34.
13. Гумен С. А. Обработка и утилизация городских сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 1995. № 4. С. 6–8.
14. Яковлев С. В., Воронов Ю. В. Водоотведение и очистка сточных вод: учеб. для вузов. М.: АСВ, 2004. 704 с.
15. Патент РФ № 2197439. Способ гидролиза осадков сточных вод и гидролизоборудование / В. П. Шишов, В. А. Трофимов, Е. С. Пигарев, А. И. Попов // ООО «Нобель». Приоритет от 04.04.2001 г.
16. Методика выполнения измерений всхожести семян и длины корней проростков растений для определения токсичности техногенно-загрязненных почв. М-П-2006. Федеральный реестр (ФРЛ.1.39.2006.02264). Санкт-Петербург. 2009. 19 с.
17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 350 с.
18. ГОСТ 26423–85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
19. ГОСТ 26483–85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО.
20. Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
21. Парк «Сергиевка» — комплексный памятник природы. СПб., 2005. 144 с.

Статья поступила в редакцию 15 марта 2012 г.