

УДК 504.1:674.8:633/635

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ  
В БИОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНОВ ТБО****А.Б. Дягилева, А.И. Смирнова, Е.В. Иванова***Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Санкт-Петербург, Россия*

Введение. Проблема регулирования обращения с отходами сегодня остается наиболее острой для большинства регионов России. Улучшение качества жизни населения приводит к увеличению потребительского спроса, и вместе с тем растет объем отходов вокруг населенных пунктов. Система селективного сбора позволяет решать часть проблем с оборотом вторичных ресурсов, но, к сожалению, в настоящее время уже накоплен значительный экологический ущерб окружающей среде от нерационального использования территорий различного назначения в виде полигонов бытовых отходов как организованных, так и неорганизованных. И все эти объекты требуют обязательного процесса рекультивации, который предполагает организацию работ по восстановлению нарушенных земель для последующего их целевого использования. Как показывает практика экспертной деятельности, значительная часть объектов в виде полигонов, которые в настоящее время идут на рекультивацию по программе Экология «Чистая страна», длительный период эксплуатировались без разработанной технической документации [1] с нарушением требований эксплуатации и режимов выхода на рекультивацию.

Сегодня процесс организации полигонов регламентируется постановлением правительства РФ [2], сводом правил СП 320.1325800.2017, и для реализации процессов эксплуатации и рекультивации используют материалы информационно-технического справочника (ИТС 17–2016), в котором приведены наилучшие доступные технологии (НДТ) в этой сфере деятельности.

Рекультивацию полигонов принято проводить в 2 этапа. Технический этап предполагает выбор и обоснование конкретных технических решений из перечня НДТ на основе комплекса результатов инженерных изысканий, которые проводятся специализированными аккредитованными организациями. Технический этап – самый трудоемкий и дорогой в процессе рекультивации. Биологический этап – завершающий этап рекультивации территории, в который входит комплекс агротехнических, ландшафтных, мелиорационных мероприятий, направленных на восстановление функции территории. Проведение этих работ предполагает восстановление поврежденного почвогрунта, засеивание его определенными травосмесями, внесение удобрений, преимущественно минеральных, как предусмотрено в ИТС. Процесс восстановления почвогрунта достаточно длительный, но он может быть более продуктивным и эффективным по накоплению гумуса в период рекультивации при использовании специфических стимуляторов роста и новых реагентов. Для обработки почв, содержащих нефтепродукты эффективны реагенты, содержащие углеводородокисляющие биопрепараты [3]. Однако наибольшее предпочтение в технологии биологической рекультивации разработчики проектов отдают традиционным минеральным удобрениям, таким как калийные, азотные, фосфорные или комплексные, содержащие несколько видов минеральных компонентов. Большинство минеральных удобрений хорошо растворяется в воде [4], и при контакте с ливневыми водами в процессе инфильтрации эти компоненты приобретают значительную подвижность и могут вымываться по изолирующему слою в зону разгрузки потока воды. Это приводит к загрязнению ливневых сточных вод с поверхности рекультивируемого объекта особенно в начальный период биологической стадии. Поэтому важно создать естественный барьер в почвенном слое за счет стимуляции роста посевного материала с накоплением корневой биомассы культур, используемых для целей биологической рекультивации. Важным качеством новых стимуляторов роста должно является то, что они активно способствуют развитию биомассы растений и в тоже время не проявляют токсичности по отношению к биоте вновь сформированного почвенного слоя и водным экосистемам при возможном их смывании по уклону рекультивируемого объекта.

Композиционный состав травосмесей определяется видом и особенностями территории рекультивации. Различают газонные травосмеси, луговые, для засоленных почв, болотистых грунтов для северных регионов и средней полосы России. В зависимости от климатических условий региона применяют многолетние травы, причем для рекультивации земель Северо-Западного региона принято использовать волоснец сибирский, клевер красный, мятлик луговой, мятлик обыкновенный, овсяницу луговую, тимофеевку луговую.

Целью данного этапа исследования оригинальных стимуляторов роста [5], которые потенциально могут быть использованы для биологической рекультивации, является оценка их токсичного воздействия по отношению к зоо- и фитопланктону и сравнение ростостимулирующей активности этих реагентов по развитию корневой системы высших растений, которые используются для биологической рекультивации.

**Материалы и методы.** В данной работе использовался реагент, полученный на основе запатентованного способа [5] получения стимуляторов роста из водной вытяжки коросодержащей массы. Основные характеристики рабочего раствора стимулятора роста модификации M<sub>400</sub> с длительным сроком хранения более 400 суток определялись по стандартным методикам, которые приняты в практике контроля за производственными средами и используются в аккредитованных лабораториях: ХПК 316 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, БПК 158 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, рН рабочего раствора – 6.9, насыщенность кислородом 6.9 О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>, зольность 0.06 мас.%, цветность 665<sup>0</sup> КППШ. Анализ цветности проводили спектрофотометрическим методом (СФ-46М) и с помощью фотоэлектроколориметра ИПС-03, полученные результаты анализа позволили адаптировать методику по определению токсичности по отношению к объектам *Chlorella vulgaris* Beijer [6] для этих приборов, на основе полученных результатов был определен диапазон кратности разбавления рабочего раствора M<sub>400</sub>, который укладывается в гигиенические нормативы.

Изучение токсичности стимуляторов роста проводили методом биотестирования на основе методики [7], основанной на определении смертности и изменений в плодовитости рачков *Daphnia magna* Straus. Биотестирование сегодня довольно активно используется в исследовательской практике для оценки токсичности водных объектов и водных вытяжек из отходов производства [8].

Для оценки ростостимулирующей активности использовали клевер красный (ГОСТ Р 523225 – 2005), партия 506, и овсяницу луговую. Исследования проводились согласно методики [9].

**Результаты и обсуждение.** На первом этапе работы были установлены необходимые кратности разбавления водных растворов стимулятора роста M<sub>400</sub>. С помощью многоцветного культиватора KBM-05 получали результаты для оценки качества роста водорослей хлорелла. Прибор позволил минимизировать систематическую погрешность исследования за счет соблюдения одинаковых и контролируемых условий процесса: температура среды 36 °С, средняя интенсивность света 60 Вт/м<sup>2</sup>, снабжение СО<sub>2</sub>, равномерное перемешивание при одновременном выращивании 24 проб культуры водорослей. За период проведения исследования (22 часа) отмечалось значительное увеличение оптической плотности исследованных систем. За обозначенный промежуток времени действие раствора стимулятора роста M<sub>400</sub> отобразилось на пяти поколениях выбранных объектов.

Полученные экспериментальные данные соответствовали гигиеническому нормативу - 30 % > I < +20 %, излишний прирост или угнетение простейших не были зафиксированы при всех исследованных кратностях разбавления в диапазоне от 0 до 81. Согласно полученным данным следует, что растворы стимулятора роста M<sub>400</sub> укладываются в диапазон гигиенического норматива, и его воздействие не оказывает отрицательного влияния на выбранный объект окружающей среды. Исследованные растворы можно рассматривать как субстраты для получения биомассы *Chlorella vulgaris* Beijer. В последнее время к одноклеточным фотосинтезирующим организмам возникает практический интерес, связанный с потенциальными возможностями их использования как продуцентов ценных метаболитов, витаминов и ряда других органических соединений, которые сегодня востребованы [10].

Следующим этапом исследования являлось определение острой токсичности без разбавления пробы. При биотестировании на острую токсичность модификации стимуляторов роста M<sub>400</sub> использовали синхронизированную культуру *Daphnia magna*, полученную от одной особи путем ациклического партеногенеза в третьем поколении. Таким образом, была получена генетически однородная культура с близкими характеристиками устойчивости к токсичным веществам. Для отбора одновозрастных *Daphnia magna* использовали фильтрацию через комплект сит, для взрослых тест-объектов – сито с размером ячеек 1000–2200 мкм, для мелких – 450–560 мкм. Молоди к биотестированию не допускались.

Объекты исследования *Daphnia magna* кормили комбинированным дрожжи-водорослевым питанием с использованием *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Selenastrum*. На достоверность полученных результатов оказывает важное значение режим кормления тест-объектов: избыточное кормление приводит к снижению чувствительности и уменьшает концентрацию растворенного кислорода; недостаток питательных компонентов приводит к неадекватной реакции организма на исследуемый новый реагент. Режим питания и питательные растворы готовили согласно методики [7].

Исследование острой токсичности  $M_{400}$  на основе коросодержащего потока проводили при концентрации исходной исследуемой водной вытяжки от 1 до 100 %. С начала опыта учет смертности оценивали через час в течение 12 часов, в последующие дни – 2 раза в сутки. Если особь не двигалась в течение 15 секунд после покачивания стакана, она оценивалась как погибшая.

Хроническую токсичность проверяли на серии разбавлений, которые не вызвали острого токсического действия. Продолжительность хронического эксперимента составляла 10 суток. Учет смертности и родившейся молоди в опыте и контроле проводили один раз в сутки ежедневно. Как правило, этот эксперимент имеет продолжительность 24 суток, однако по объективным причинам его длительность пришлось сократить, поэтому последние данные являются промежуточными и требуют дополнительного исследования.

На основе полученных результатов были построены зависимости острой и хронической токсичности по выживаемости исследуемых тест-объектов от времени воздействия при различных разбавлениях рабочего раствора  $M_{400}$ . В качестве примера на рис. 1 приведены зависимости острой (1) и хронической (2) токсичности при соответствующей выживаемости тест-объектов при концентрации (%) исходного раствора  $M_{400}$  соответственно 100 и 50.

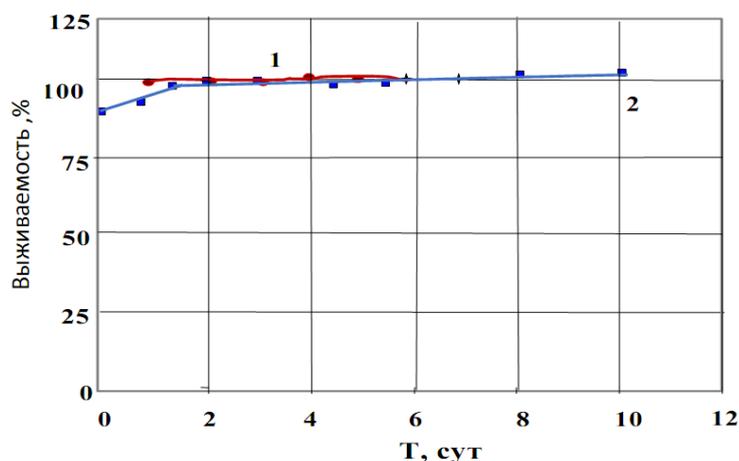


Рис. 1. Зависимость выживаемости тест-объектов от времени воздействия при оценке острой (1) и хронической (2) токсичности стимулятора роста  $M_{400}$ .

хранения в виде модификации  $M_{400}$  могут быть использованы для обработки семян, которые применяются на стадии биологической рекультивации ТБО и для восстановления продуктивности нарушенного почвогрунта.

Установлено, что исследованные водные растворы стимуляторов роста не обладают фито- и зоотоксичностью и могут быть безопасно использованы для ускорения периода биологической рекультивации. Информация об отсутствии острой и хронической токсичности на тест-объекты *Daphnia magna* Straus семейства *Daphniidae* позволяет сделать вывод, что исследованная модификация стимулятора роста  $M_{400}$  может быть охарактеризована как продукт, не несущий нагрузку на экосистему. На примере клевера и овсяницы, которые широко распространены в практике биологической рекультивации полигонов ТКО показано, что при обработке посевного материала отмечается существенный прирост биомассы растений в сравнении с контрольными образцами. Показан на качественном уровне позитивный эффект активного развития биомассы высших растений на примере клевера и овсяницы, которые широко распространены в практике биологической рекультивации полигонов ТКО.

Исследования ростостимулирующей активности  $M_{400}$  на овсянице и клевере показали существенный прирост биомассы растений (более чем на 35–42 %) по сравнению с контрольными образцами, что еще раз свидетельствует о благоприятном влиянии этой модификации стимуляторов роста для высших растений [7], которые с успехом могут быть использованы для подготовки семенного материала для биологического этапа рекультивации полигонов и при этом не будут оказывать токсичного влияния на экосистемы.

**Заключение.** Таким образом, специально подготовленные водные экстракты из коры при переработке древесины даже после длительного

**Литература**

Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов. Постановление Минстроя России от 05.11.1996.

Дегтярева И.А. Создание и применение биоудобрения на основе эффективного консорциума микроорганизмов-деструкторов углеводов для рекультивации нефтезагрязненных почв Республики Татарстан // Нефтяное хозяйство. 2017, № 5. С. 100–103.

Най П.Х., Тинкер П.Б. Движение растворов в системе почва-растение, М., Колос, 1980, 368 с.

ГОСТ Р 59057–2020 Охрана окружающей среды. ЗЕМЛИ. Общие требования по рекультивации нарушенных земель

Патент № 2734634 RU

ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10–04. Токсикологические методы контроля. Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления. Москва: Стандартинформ. 2018. – IV. 7.

ФР.1.39.2007.03222 «Методика вод определение токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных, отходов по смертности и изменение плодовитостей дафней».

Олькова А.С., Фокина А.И. *Daphnia magna* Straus в битестировании природных и техногенных сред // Успехи современной биологии, 2015, Т.135, № 4, с. 380–389.

ГОСТ 12038–84 1986–07–01 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. Текст: электронный // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации (сайт). 2003. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200023365> (дата обращения 20.04.2019).

Лукьянов В.А., Стифеев А.И., Горбунова С.Ю. Микроводоросль *Chlorellavulgaris* Beijer – высокопродуктивный штамм для сельского хозяйства // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 13. – С. 1576–1580. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/85316.htm>.