

Быстрорастущие посадки как технология для фиторемедиации выведенных из хозяйственного оборота земель и их экосистемные услуги

¹ Елена Михайловна Маслова, главный эколог – начальник Управления производственной экологии, ORCID: 0009-0005-9858-3076

¹ Наталья Анатольевна Скорик, начальник Службы экологического контроля Управления производственной экологии, ORCID: 0009-0003-9352-2712

¹ Анна Владимировна Быханова✉, e-mail: anna.bykhanova@tmk-group.com, инженер по охране окружающей среды 1 категории Службы экологического контроля Управления производственной экологии, ORCID: 0009-0002-6391-8137

² Вера Алексеевна Фролова, к.с.-х.н., доцент, Эксперт по валидации и верификации отчетности по выбросам и поглощению парниковых газов, Орган по валидации и верификации парниковых газов, ORCID: 0009-0009-2139-7522

² Оксана Васильевна Чернышенко, д.б.н., профессор, Эксперт по валидации и верификации отчетности по выбросам и поглощению парниковых газов, ORCID: 0009-0008-9785-4884

² Александр Николаевич Миславский, учебный мастер, ассистент, ORCID: 0009-0009-9227-3658

² Дмитрий Юрьевич Тарасов, заместитель директора инновационного технологического центра комплекса научной политики, ORCID: 0009-0000-7810-8407

¹ Акционерное общество «Волжский трубный завод» (АО «ВТЗ»), e-mail: vtz@vtz.ru, 404119, пр-кт Металлургов 6, Волгоградская область, г. Волжский, Россия

² ФГБОУВО «МГТУ имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», e-mail: tchernyuchenko@mgu.ac.ru, 141005, ул. 1-я Институтская 1, Московская обл., г. Мытищи, Россия

Аннотация. Увеличение количества направляемых на захоронение отходов производства и потребления влечет за собой деградацию земель, что негативно влияет на скорость поглощения углерода компонентами экосистемы. Для Волгоградской области в силу климатических особенностей региона характерной является засушливость, которая в перспективе может привести к аридизации отдельных участков. Целью работы являлась фиторемедиация выведенных из хозяйственного оборота земель посредством создания карбоновой фермы на территории Акционерного общества «Волжский трубный завод» (АО «ВТЗ») и технологии высокоэффективной секвестрации углекислого газа из атмосферы за счет быстрорастущих посадок. Впервые будет проведено использование карбоновых ферм на объекте размещения отходов взамен биологической рекультивации при выводе его из эксплуатации, а также впервые в условиях засушливого климата степной зоны используется в качестве быстрорастущей породы павлония (*Paulownia*). В 2022 г. экологами АО «ВТЗ» совместно с экспертами по валидации и верификации отчетности по выбросам и поглощению парниковых газов ИТЦ МГТУ им. Н.Э. Баумана запущен климатический проект на Полигоне захоронения отходов производства и потребления 3-4-5 классов опасности АО «ВТЗ» (далее – «Полигон»). На действующем полигоне были определены экспериментальные модельные участки, а также контрольные площадки на участке ранее выведенного из эксплуатации объекта размещения отходов, проведено рекогносцировочное обследование объектов. Полученные в ходе проведенных работ сведения легли в основу технологических решений моделей карбоновой фермы. Так, для получения устойчивой технологии фиторемедиации, с учетом климатических особенностей региона, был выбран тип карбоновой фермы с коротким севооборотом. В концепцию проекта включены исследования по производству биомассы, содействие природным биогеохимическим циклам, восстановление биоразнообразия, создание многолетнего углеродного пула. Реализация проекта позволит разработать научно обоснованные принципы по созданию карбоновых ферм на Полигонах захоронения отходов производства и потребления для повышенной секвестрации атмосферного углерода.

Ключевые слова: климатический проект, карбоновая ферма, фиторемедиация, секвестрация углерода.

Финансирование. Исследования производилось за счет собственных средств АО «ВТЗ».

Цитирование. Маслова Е.М., Скорик Н.А., Быханова А.В., Фролова В.А., Чернышенко О.В., Миславский А.Н., Тарасов Д.Ю. Быстрорастущие посадки как технология для фиторемедиации выведенных из хозяйственного оборота земель и их экосистемные услуги // Научно-агрономический журнал. 2024. 3(126). С. 26-33. DOI: 10.34736/FNC.2024.126.3.004.26-33

Поступила в редакцию: 07.06.2024

Принята к печати: 30.08.2024

Введение. На территории Волгоградской области представлены разнообразные ландшафты, что обусловлено сложностью рельефа местности и

климатическими контрастами [7;11;12].

Зональными являются умеренно континентальные степные и аридные (полупустынные) ландшафты.

дшафты, которые характеризуются постепенным увеличением засушливости климата в направлении с северо-запада на юго-восток области.

Деградация земель, вызванная антропогенными процессами, усиливает выброс парниковых газов (ПГ) и снижает скорость поглощения углерода компонентами экосистемы [19]. Одна из причин расширения деградации земель – постоянное увеличение количества захоронения промышленных и коммунальных отходов.

Климатические изменения для Волгоградской области влияют на увеличение аридизации в основной период вегетации – летом и осенью. Продолжительность вегетации 165–175 дней. Прогнозируется, что изменение климата в данном регионе приведет к нарушению естественной модели динамики растительности; будут формироваться лишь некоторые фитоценозы, в то время как другие подвергнутся полной редукции и опустыниванию [8].

Захоронение отходов на Полигоне означает выбытие земель из хозяйственного обращения. После заполнения отходами на полигонах должна быть проведена рекультивация для обеспечения возможности рационального использования территорий.

Рекультивация полигонов, исчерпавших свой эксплуатационный ресурс, согласно Постановлению Правительства РФ № 800 от 10.07.2018 «О проведении рекультивации и консервации земель», должна обеспечивать восстановление земель до состояния соответствия нормативам качества окружающей среды и требованиям законодательства Российской Федерации [10].

На этапе биологической рекультивации, восстановление нарушенных земель, чаще всего применяются травосмеси, что позволяет восстановить территорию на короткий срок, не получая пролонгированный эффект.

Такие территории вызывают множество экологических проблем, требующих решений с учетом региональных особенностей городских систем и ландшафтов [17]. Деградацию земель можно остановить рекультивацией и восстановлением почвы до состояния соответствия нормативам качества окружающей среды и требованиям законодательства Российской Федерации.

Нарушенные в результате вмешательства (деятельности человека) земли используются в климатических проектах для выращивания зеленых насаждений во многих странах. Так, посадка деревьев помогает бороться с проблемой опустынивания в крупнейшем проекте 2021 г. «Ближневосточная зеленая инициатива, The Middle East Green Initiative (MGI)» [21]. Новая «Ближневосточная зеленая инициатива» предусматривает сокращение выбросов парниковых газов, резкое ограничение использования ископаемого топлива и увеличение доли возобновляемых источников энергии с 0,3 процентов до 50 процентов к 2030 году. В проекте предлагается расширить площади охраняемых

территорий и посадить 50 миллиардов деревьев. Проектом MGI предполагается восстановление земель в регионе путем посадки 50 миллиардов деревьев, подходящих для местных условий, и получения выгод от снижения темпов опустынивания, эрозии почв, песчаных бурь, понижения местной температуры, чтобы сделать регион более пригодным для жизни людей.

Главное в климатическом проекте по изменению землепользования является полный учет выбросов парниковых газов. При реализации проектов по смягчению последствий изменения климата оценка экосистемных услуг, таких как сохранение биоразнообразия, поддержание питательных веществ в почве и регулирование климата, по нашему мнению, может стать дополнительным средством экономической выгоды.

В РФ с 2022 г. реализуются система обращения углеродных единиц, которая помогает компенсировать углеродный след продукции сокращением выбросов парниковых газов [9].

Климатические проекты для компенсации выбросов парниковых газов рассматриваются как важный вариант смягчения последствий изменения климата и участия в углеродных рынках. Выращивание древесных культур посредством карбоновых ферм, по нашему мнению, может сократить и избежать выбросы в атмосферу трех наиболее важных парниковых газов: диоксида углерода (CO₂), метана (CH₄) и закиси азота (N₂O). Углекислый газ депонируется в «поглотителях», поглощая CO₂ из атмосферы в процессе фотосинтеза растений.

В Государственной Думе РФ рассмотрен в трех чтениях и принят Законопроект, предусматривающий проведение эксперимента по сокращению выбросов парниковых газов и достижению «углеродной нейтральности» на территории отдельных регионов страны [14]. На начальном этапе проведение эксперимента предполагается только на территории Сахалинской области с 01.09.2022 по 31.12.2028 года, однако законопроект позволяет в дальнейшем расширить географию его применения и на другие субъекты РФ.

ПАО «Трубная металлургическая компания», в контур которой входит АО «ВТЗ», приняты обязательства в реализации климатического проекта на площадке АО «ВТЗ» в г. Волжский, Волгоградской области.

Впервые будет проведено использование карбоновых ферм на Полигоне взамен биологической рекультивации при выводе полигона из эксплуатации, являющейся по законодательству обязательной.

Цель работы – фиторемедиация выведенных из хозяйственного оборота земель посредством создания карбоновой фермы на территории Акционерного общества «Волжский трубный завод» (АО «ВТЗ») и технологии высокоэффективной секвестрации углекислого газа из атмосферы за счет быстрорастущих посадок.

Для достижения поставленной цели были сформированы следующие задачи:

- обследование территории, определение экспериментальных участков;
- проведение анализа физико-химических, агрофизических и агрохимических характеристик почвы;
- определение видового и количественного состава естественной растительности, проведение оценки состояния древесных растений;
- осуществление инструментальных замеров базовых концентраций углекислого газа в воздухе;
- подбор сортамента, высадка, поддержание роста и развития древесной растительности на карбоновой ферме.

Материалы и методы исследования. В 2022 г. экологи АО «Волжского трубного завода» (г. Волжский, Волгоградская область) совместно с экспертами по валидации и верификации отчетности по выбросам и поглощению парниковых газов ИТЦ МГТУ им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) начали разрабатывать климатический проект на Полигоне захоронения отходов производства и потребления 3-4-5 классов опасности АО «ВТЗ». Цель работы – разработка концепции климатического проекта по созданию карбоновой фермы на территории АО «ВТЗ» и технологии высокоэффективной секвестрации углекислого газа из атмосферы растениями в условиях засушливого климата степной зоны.

Регион реализации проекта расположен в зоне типчаково-ковыльных степей на темно-каштановых и каштановых почвах.

Климат характеризуется засушливостью, обилием тепла при недостаточном уровне увлажнения, изменчивостью метеопараметров в многолетней динамике измерений. Лето жаркое и сухое, среднесуточная температура может превышать 30 °С, максимальные летние температуры достигают 39–40 °С; поверхность почвы нагревается до 65–67 °С, относительная влажность понижается до 10–12 %, максимальный дефицит упругости водяного пара достигает 58–60 гПа. Средняя скорость ветра составляет 5,0 м/с.

Исследования проводились на площади около 8 га Полигона летом и осенью 2022-2023 гг.

Для базового сценария были определены экспериментальные модельные участки с обозначением границ на действующем Полигоне, а также контрольные площадки на участке объекта размещения отходов, выведенного из эксплуатации АО «ВТЗ» в 2015 г., проведено рекогносцировочное обследование объектов, включающее аэровизуальный метод обследования с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) и дальнейшей фотограмметрической обработки SFM-методами аэрофотосъемки, а также наземные маршрутные наблюдения.

В исследование входил комплексный анализ почв, для которого были привлечены специалисты ФГБНУ ФИЦ Почвенного института им. В.В.

Докучаева. Совместно с экологами АО «ВТЗ» произведен совместный отбор 120 проб почв, а также осуществлен анализ физико-химических, агрофизических и агрохимических характеристик почвы. Отбор почв производился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017.

Также были изучены видовой и количественный состав естественной растительности, проведена оценка состояния древесных растений, используемых в озеленении территории, осуществлены инструментальные замеры базовых концентраций углекислого газа в воздухе с помощью газоанализаторов.

Изучение устойчивости деревьев, расположенных по периметру Полигона, проведено по флуоресценции хлорофилла с помощью переносного флуориметра Handy PEA+ (Hansatech Instruments, UK). Были выявлены ограничения для выращивания древесных растений на картах захоронения отходов, например, уплотнение почвы, солонцеватость, ограниченное почвенное пространство по глубине и др.

Результаты и обсуждение. Данные комплексного анализа территории легли в основу технологических решений моделей карбоновой фермы. Для преодоления негативных факторов влияния на рост растений был выбран тип карбоновой фермы с коротким севооборотом (Short rotation woody crops (SRC)) [22]. Наибольший положительный эффект карбоновая ферма по типу SRC оказывает на маргинальные почвы, уменьшая количество загрязняющих веществ [5;6]. Древесные быстрорастущие породы деревьев выращиваются для получения высоких урожаев биомассы за короткий период и секвестрации углерода в тканях растений.

Предложенная концепция по организации карбоновой фермы на Полигоне включает разработку устойчивой и экологичной технологии фиторемедиации с посадкой древесных растений различной плотности, почвенных добавок, внесение удобрений, вермикулита, схемы орошения, предоставленные экосистемных услуг.

«Зеленые» решения в долгосрочной перспективе должны решить вопросы комплексно, а именно: оздоровление качества атмосферного воздуха, качественное улучшение состояния почвы, восстановление природной среды и естественной растительности г. Волжского и региона в целом. В стратегию проекта включены исследования по производству биомассы, содействие природным биогеохимическим циклам, восстановление биоразнообразия – мест обитания и видов, создание многолетнего углеродного пула.

Для фиторемедиации загрязняющих веществ почв были выбраны 19 засухоустойчивых и быстрорастущих видов древесных растений (привезены из ОГУП – дендропарк «ЛОСС» (Липецкая область, д. Барсуково). Деревья предотвращают миграцию почвенных загрязнителей в результате ветровой и водной эрозии, выщелачивания и рассеивания почвы, стабилизируют металлы (на-



Рисунок 1. Выращивание тополей по типу SRC, Полигон АО «ВТЗ» (г. Волжский, Волгоградская область)



Рисунок 2. Выращивание ивы пурпурной «Нана», ОГУП – дендропарк «ЛОСС» (Липецкая область, д. Барсуково)

пример, Cu, Pb) путем поглощения и накопления корнями, адсорбции корневой системой или осаждения в ризосфере.

Тополя (*Populus*) и ива пурпурная «Нана» (*Salix purpurea* L.) (рисунок 1, 2) используются для фиторемедиации с целью очистки почвы от опасных соединений, таких как тяжелые металлы или органика [1;3;13].

Многие выбранные древесные виды не являются гипераккумуляторами опасных загрязнителей, но предложенные агротехнические методы управления SRC обеспечат их быстрый рост и повышенную секвестрацию атмосферного углерода [18]. Почвенные добавки в виде вермикулита повысят стрессоустойчивость древесных пород, обеспечивая корни макроэлементами и способствуя поглощению воды.



Рисунок 3. Посадки ореха маньчжурского и гледичии трехколючковой. Полигон АО «ВТЗ» (г. Волжский, Волгоградская область)

Гледичия трехколючковая (*Gleditsia triacanthos* L.) (рисунок 3) выбрана для улучшения почвы благодаря своей способности создавать симбиотические взаимодействия с N₂-фиксирующими бактериями. Чередование культур с гледичией трехколючковой (*Gleditsia triacanthos* L.) обеспечит ряд преимуществ для фитоэкстракционных и фитостабилизирующих древесных культур, например, ореха маньчжурского (*J. mandshurica* Maxim.) и тополя (*Populus*).

Урожай древесины собирают через короткий промежуток времени – 2–3 года, поэтому древесные растения выращиваются как поросль (рисунок 4). Для выращивания на карбоновой ферме предложены также акация желтая (*Caragana arborescens* Lam.), орех серый (*J. cinerea* L.), шелковица (*M. nigra* L.), клен татарский (*Acer tataricum* L.) и др.



Рисунок 4. Посадки тополя (1-летние побеги) Полигон АО «ВТЗ» (г. Волжский, Волгоградская область)

Плотность посадки на модельных экспериментальных площадках АО «ВТЗ» составляет от 1 до 3 деревьев на 1 м². Более плотные посадки приведут к увеличению затрат по содержанию, что повышает стоимость карбоновой фермы. А также высокая плотность посадки может привести к снижению производства биомассы, более высокому риску заболеваний из-за возможного распространения болезней и вредителей.

Основным недостатком создания карбоновой фермы в засушливом климате является то, что эта система может быть неэффективной из-за снижения роста растений при критических температурах и минимальных осадках. Влажность почвы влияет как на рост растений, так и на перенос металлов в почву, а следовательно, на управление процессами фиторемедиации, особенно, в засушливых и полувасушливых районах, для которых характерны относительно длительные периоды засухи. Длительная засуха вызывает стресс, который повышает чувствительность растений к патогенам и, что более важно, снижает рост растений. Засухи негативно сказываются на успехе фиторемедиации.

На основании реализации 1 этапа проекта карбоновой фермы сделан вывод о необходимости интенсивного полива в первые два года после посадки.

Положительный водный баланс повышает транспирацию растений, скорость поглощения и стабилизацию загрязнителей в тканях дерева.

Создаваемая нами карбоновая ферма должна функционировать как жизненно важная живая система, поддерживать продуктивность растений и животных, улучшать качество воздуха, способствовать предоставлению экосистемных услуг.

Экосистемные услуги являются функциональными результатами биологических процессов, возникающих в результате сложных взаимодействий в природе. Биоразнообразие карбоновой фермы влияет на ее экологическую многофункциональность.

Биоразнообразие растений и животных зависит от возраста плантации [15;16]. Условия обитания видов будут зависеть от пространственной структуры, плотности насаждений, количества древесных видов, тенистости крон и влажности воздуха и почвы. Карбоновая ферма по мере роста древесных растений и сбора урожая проходит фазы открытой местности, кустарниковидных насаждений и древовидных форм (рисунок 4).

Большинство сообщества птиц и млекопитающих SRC состоят из видов, встречающихся на открытой местности и в лесах данного региона. Лиственные древесные растения карбоновой фермы будут обеспечивать устойчивый источник производства биомассы [2].

В наш проект также включены высаженные 03.06.2022 г. саженцы быстрорастущего дерева павловнии войлочной (*Paulownia tomentosa*) в количестве 50 штук на Полигоне и 50 штук на территории завода АО «ВТЗ» (рисунок 5, 6, 7, 8).

Это первое промышленное внедрение павловнии в качестве быстрорастущей породы в условиях засушливого климата.

Павловния входит в число самых быстрорастущих деревьев на планете. В 2015 году культура Павловния была внесена в Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории России. Род Павловния *Paulownia* естественно произрастает в КНР. Наилучшие условия для выращивания гибридов павловнии находятся в южной Европе, в странах Ближнего Востока, Турции и Ирана, где климатические условия произрастания павловнии оказывают влияние на динамику роста. За последние 20 лет исследования по выращиванию павловнии проводились в Азии, США, Австралии, Европе, Центральной Африке [20]. Основными ограничениями, значительно снижающими рост саженцев павловнии и производство биомассы в условиях резко-континентального климата Волгоградской области, являются более



Рисунок 5. Посадка павловнии на Полигоне захоронения отходов АО «ВТЗ» (периметральное озеленение)



Рисунок 6. Измерение флуоресценции хлорофилла листьев саженца павловнии на Полигоне захоронения отходов АО «ВТЗ» с помощью Handy PEA+ (Hansatech Instruments, UK)



Рисунок 7. Посадка павловнии на территории завода АО «ВТЗ»



Рисунок 8. Измерение флуоресценции хлорофилла листьев саженца павловнии на территории завода АО «ВТЗ», с помощью Handy PEA+ (Hansatech Instruments, UK)

короткий вегетационный период и резкие перепады температур в зимний период. Посадки павловнии были исследованы с целью изучения приживаемости, продуктивности, наличия вредителей и болезней, устойчивости по флуоресценции хлорофилла, реакции растений на местные климатические условия.

Выводы. Климатический проект по созданию карбоновой фермы основан на изменении землепользования с Полигона захоронения отходов производства и потребления АО «ВТЗ» на карбоновую ферму с коротким севооборотом, технологиями фиторемедиации и повышенной секвестрации углерода. Восстановление древесных насаждений и создание ландшафта биологических коридоров обеспечат экосистемные услуги для региона. Эти услуги включают смягчение последствий изменения климата, увеличение поглощения углекислого газа, улучшение взаимосвязанности экосистем, расширение среды обитания и сохранение флоры и фауны в регионе г. Волжского. Проект разработан в соответствии с требованиями, критериями и показателями, установленными Правилами верификации результатов реализации климатических проектов, и окажет положительное воздействие на сохранение биоразнообразия в пределах проектной зоны и ее окрестностях. Биоразнообразие будет меняться в зависимости от возраста древесной, методов управления карбоновой фермой и устойчивости создаваемых экосистем. Рассмотрение различных подходов к измерению биоразнообразия и полученные данные будут использованы в моделях оптимизации и оценки экосистемных услуг. Реализация данного проекта позволит разработать научно обоснованные принципы по созданию карбоновой фермы на полигонах захоронения отходов производства, для повышенной секвестрации атмосферного углерода в условиях засушливого климата степной зоны.

Литература:

1. Арабский А. К., Башкин В. Н., Галиулин Р. В. Инновационная технология рекультивации почв, реализуемая на Тазовском полуострове (Ямало-Ненецкий автономный округ) // Безопасность Труда в Промышленности. 2018. № 3. С.68-72.
2. Васильев С. Б., Чернышенко О. В. К вопросу формирования банка данных о запасах углерода в фитомассе древесных растений // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2018. Т. 147. С. 27-28.
3. Галиулин Р. В., Кочуров Б. И. Фиторемедиация почв, загрязнённых тяжёлыми металлами // Теоретическая и прикладная экология. 2009. № 4. С.71-75.
4. Жданов А. С., Волкова Л. П., Чернышенко О. В. Оценка потенциала территории ПКИО «Сокольники» в депонировании углерода // В книге: Научные основы устойчивого управления лесами. Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. Москва, 2020. С. 32-34.
5. Капелькина Л. П. Рекультивация нарушенных земель в Кузбассе (На примере породных отвалов шахты «Нагорная») // Региональная экология. 2013. № 1-2 (34). С.143-152.
6. Коротков В. Н., Копчик Г. Н., Смирнова И. Е., Копчик С. В. Восстановление растительности на техногенных пустошах в окрестностях Мончегорска (Мурманская область, Россия) // Russian Journal of Ecosystem Ecology. 2019. № 4 (1). С.1-18.
7. Кузьмина Ж. В., Трешкин С. Е. Климатические изменения в бассейне Нижней Волги и их влияние на состояние экосистем // Аридные экосистемы. 2014. Том 20. № 3 (60). С. 14-32.
8. Кулик К. Н., Рулев А. С., Юферев В. Г. Дистанционно-картографическая оценка деградационных процессов в агроландшафтах юга России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и Высшее профессиональное образование. 2009. № 4 (16). С.12-25.
9. Постановление Правительства РФ от 30 апреля 2022 г. N 790 «Об утверждении Правил создания и ведения реестра углеродных единиц, а также проведения операций с углеродными единицами в реестре углеродных единиц». 16 с. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/>

View/0001202205050004 (дата обр. 06.04.2023).

10. Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 N 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» (вместе с «Правилами проведения рекультивации и консервации земель»). 18 с. <https://rpn.gov.ru/upload/iblock/81f/Постановление%20Правительства%20РФ%20от%2010.07.2018%20N%20800.pdf> (дата обращения 06.04.2023).

11. Рябина Н.О. Историко-культурные ландшафты и развитие природоохранного каркаса степей Юго-Востока Русской равнины // Вопросы степеведения. 2019. № 15. С. 273-276.

12. Рябина Н.О. Сохранение эталонных степных экосистем и ландшафтов Волгоградской области // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 3: Экономика. Экология. 2011. № 1 (18). С. 231-238.

13. Тимофеева С. С., Ульрих Д. В. Технологии фиторе- медиации на техногенно-поврежденных территориях в условиях Восточной Сибири и Южного Урала // Безопасность в техносфере. 2016. №6. С.16-23.

14. Федеральный закон от 6 марта 2022 г. N 34-ФЗ «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации». (дата обращения 06.04.2023).

15. Фролова В. А., Чернышенко О. В. Потенциальные преимущества деревьев-интродуцентов для поддержания экосистемных услуг в городе / Сборник: Труды по интродукции и акклиматизации растений. Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук. Ижевск, 2021. С. 534-537.

16. Чернышенко О. В. Экологические аспекты применения современных фитотехнологий в городе / Сборник материалов XX Международного научно-практического форума «Проблемы озеленения крупных городов». Сборник материалов форума в рамках Международной выставки «Цветы – 2018». 2018. С. 48-51.

17. Borrellia P., Robinson D. A., Panagos P., Lugatod E., Yang J. E., Alewella C., Wueppere D., Montanarellad L., and Ballabio C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). 2020;117(36):21994-22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>

18. Ghezeheia S. B., Wright J., Zalesny R.S., Nicholasa E.G., Hazela D.W. Matching site-suitable poplars to rotation length for optimized productivity. *Forest Ecology and Management*. 2020;457:117670. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.117670

19. Global assessment of soil pollution – Summary for policy makers. Rome, FAO / FAO and UNEP. 2021. <http://www.fao.org/3/cb4827en/cb4827en.pdf>. (дата обращения 06.04.2023). <https://doi.org/10.4060/cb4827en>

20. Jakubowski M. Cultivation Potential and Uses of Paulownia Wood: A Review. *Forests*. 2022;13:668. <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/5/668>

21. MGI: powering regional climate action. Combating climate change through collaboration, knowledge exchange and investments in the green economy. <https://www.greeninitiatives.gov.sa/about-mgi/>

22. Zalesny R. S., Pilipovic A. Growth and Development of Short-Rotation Woody Crops for Rural and Urban Applications. *Forests*. 2022;13(6):867. <https://doi.org/10.3390/f13060867>

DOI: 10.34736/FNC.2024.126.3.004.26-33

Fast-Growing Plantings As a Technology for Phytoremediation of Decommissioned Lands and Their Ecosystem Services

¹Elena M. Maslova, chief ecologist – Head of the Department of Industrial Ecology, ORCID: 0009-0005-9858-3076

¹Natal'ya A. Skorik, Head of the Environmental Control Service, ORCID: 0009-0003-9352-2712

¹Anna V. Byhanova , e-mail: anna.bykhanova@tmk-group.com, environmental protection engineer of the 1st grade, Environmental Control Service in the Industrial Ecology Department, ORCID: 0009-0002-6391-8137

²Vera A. Frolova, Cand. Sci. (Agri.), Associate Professor, ORCID: 0009-0009-2139-7522

²Oksana V. Chernyshenko, Dr. Sci. (Biol.), Professor, ORCID: 0009-0008-9785-4884

²Aleksandr N. Mislavskij, training master, assistant, ORCID: 0009-0009-9227-3658

²Dmitrij Yu. Tarasov, Deputy Director of the Innovation Technology Center in the Scientific Policy Complex, ORCID: 0009-0000-7810-8407

¹Joint-Stock Company «Volzhsky Pipe Plant» (JSC «VPP»), e-mail: vtz@vtz.ru, 404119, Volgograd Region, Volgzhsky city, Metallurgov Pr-t. 6, Russia

²Bauman Moscow State Technical University, e-mail: tchernychenko@mgul.ac.ru, 141005, 1st Institut'skaya str., build. 1, Moscow Region., Mytishchi city, Russia

Abstract. An increase in the amount of production and consumption waste sent to landfill entails land degradation, which negatively affects the rate of carbon uptake by ecosystem components. For the Volgograd Region, due to the climatic features of the region, aridity is characteristic, which may lead to aridization of individual areas. The aim of the work was phytoremediation of lands withdrawn from economic circulation through the creation of a carbon farm on the Joint-Stock Company «Volzhsky Pipe Plant» (JSC «VPP») region and technology for highly efficient sequestration of carbon dioxide from the atmosphere due to fast-growing plantings. For the first time, carbon farms will be used at the waste disposal facility instead of biological reclamation during its decommissioning, and for the first time in the arid

climate of the steppe zone, Paulownia is used as a fast-growing species. In 2022 Ecologists of JSC «VPP» together with experts on validation and verification of reporting on greenhouse gas emissions and uptake of the BMSTU launched a climate project at the Landfill for production and consumption waste of JSC «VPP» of 3-4-5 hazard classes (hereinafter – the «Landfill»). Experimental model sites at the operating Landfill, as well as control plots at the site of the previously decommissioned waste disposal facility were laid, and a reconnaissance survey of the facilities was carried out. The information obtained in the course of the work formed the basis for technological solutions for carbon farm models. Thus, in order to obtain a sustainable phytoremediation technology, taking into account the climatic characteristics of the region, a type

of carbon farm with a short crop rotation was chosen. The project concept includes research on biomass production, promotion of natural biogeochemical cycles, restoration of biodiversity, and creation of a multi-year carbon pool. The project implementation will make it possible to develop scientifically sound principles for the creation of carbon farms at disposal of production and consumption waste landfills in order to increase atmospheric carbon sequestration.

Keywords: climate project, carbon farm, phytoremediation, carbon sequestration

Funding. The research was carried out at the expense of JSC «VPP» own funds.

Citation. Maslova E. M., Skorik N. A., Byhanova A. V., Frolova V. A., Chernyshenko O. V., Mislavskij A. N., Tarasov D. Yu. Fast-Growing Plantings As a Technology for Phytoremediation of Decommissioned Lands and Their Ecosystem Services. *Scientific Agronomy Journal*. 2024;3(126):26-33.

DOI: 10.34736/FNC.2024.126.3.004.26-33

Received: 07.06.2024

Accepted: 30.08.2024

References:

1. Arabskij A. K., Bashkin V. N., Galiulin R. V. Innovative soil reclamation technology implemented on the Tazovskiy Peninsula (Yamalo-Nenetskiy Autonomous Okrug). *Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti = Occupational Safety in Industry*. 2018;3:68-72. (In Russ.)
2. Vasil'ev S. B., Chernyshenko O. V. On the issue of forming a data bank on carbon stocks in the phytomass of woody plants. *Sbornik nauchnyh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*. 2018;147:27-28. (In Russ.)
3. Galiulin R. V., Kochurov B. I. Phytoremediation of contaminated with heavy metals soils. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya = Theoretical and Applied Ecology*. 2009;4:71-75. (In Russ.)
4. Zhdanov A. S., Volkova L. P., Chernyshenko O. V. Assessment of the Sokolniki Culture and Recreation Park potential in carbon deposition. In: *Nauchnye osnovy ustojchivogo upravleniya lesami: Materials of the IV All-Russian Scientific Conference with international participation*. Moscow, 2020, pp. 32-34. (In Russ.)
5. Kapel'kina L. P. Reclamation of disturbed lands in Kuzbass (Using the example of the Nagornaya mine rock dumps). *Regional'naya ekologiya*. 2013;1-2(34):143-152. (In Russ.)
6. Korotkov V. N., Koptsik G. N., Smirnova I. E., Koptsik S.V. Restoration of vegetation on man-made wastelands in the vicinity of Monchegorsk city (Murmansk Region, Russia). *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2019;4(1):1-18. (In Russ.)
7. Kuz'mina Zh. V., Treshkin S. E. Climatic changes in the Lower Volga basin and their impact on the state of ecosystems. *Aridnye ekosistemy = Arid Ecosystems*. 2014;20 3(60):14-32. (In Russ.)
8. Kulik K. N., Rulev A. S., Yuferev V. G. Remote cartographic assessment of degradation processes in agricultural landscapes of the South of Russia. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2009;4(16):12-25. (In Russ.)
9. Decree of the Government of the Russian Federation No. 790 dated April 30, 2022 «On Approval of the Rules for Creating and Maintaining a Register of carbon units, as well as carrying out operations with carbon units in the Register of carbon units»:16p. <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205050004> (access date: 06.04.2023). (In Russ.)
10. Decree of the Government of the Russian Federation No. 800 dated 07.10.2018 «On land reclamation and conservation» (together with the «Rules for land reclamation and conservation»):18p. <https://rpn.gov.ru/upload/iblock/81f/Постановление%20Правительства%20РФ%20от%2010.07.2018%20N%20800.pdf> (access date: 06.04.2023). (In Russ.)
11. Ryabinina N. O. Historical and cultural landscapes and the development of the steppes nature conservation framework in the South-East of the Russian Plain. *Voprosy stepovedeniya = Steppe Science*. 2019;15:273-276. (In Russ.)
12. Ryabinina N. O. Preservation of the reference steppe ecosystems and landscapes of the Volgograd Region. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika = Journal of Volgograd State University. Economics*. 2011;1(18):231-238. (In Russ.)
13. Timofeeva S. S., Ul'rih D. V. Phytoremediation technologies in technogenically damaged areas of the Eastern Siberia and Southern Urals. *Bezopasnost' v tekhnosfere = Safety in technosphere*. 2016;6:16-23. (In Russ.)
14. Federal Law No. 34-FZ of March 6, 2022 «On Carrying out an experiment to limit Greenhouse Gas Emissions in Certain Subjects of the Russian Federation». (Access date: 06.04.2023). (In Russ.)
15. Frolova V. A., Chernyshenko O. V. Potential benefits of introduced trees for maintaining ecosystem services in the city. Compilation: *Trudy po introduktsii i akklimatizatsii rastenij*. Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Izhevsk city. 2021, pp. 534-537. (In Russ.)
16. Chernyshenko O. V. Environmental aspects of the current phytotechnologies application in the city. In: *Compilation of materials of the XX International Scientific and Practical Forum «Problemy ozeleneniya krupnyh gorodov»*. 2018, pp. 48-51. (In Russ.)
17. Borrellia P., Robinsonc D. A., Panagosd P., Lugatod E., Yangb J. E., Alewella C., Wueppere D., Montanarellad L., and Ballabio C. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). 2020;117(36):21994-22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
18. Ghezeheia S. B., Wrightb J., Zalesny R. S., Nicholasa E. G., Hazela D. W. Matching site-suitable poplars to rotation length for optimized productivity. *Forest Ecology and Management*. 2020;457:117670. DOI: 10.1016/j.foreco.2019.117670
19. Global assessment of soil pollution – Summary for policy makers. Rome, FAO / FAO and UNEP. 2021. // www.fao.org/3/cb4827en/cb4827en.pdf. (Access date: 06.04.2023). <https://doi.org/10.4060/cb4827en>
20. Jakubowski M. Cultivation Potential and Uses of Paulownia Wood: A Review. *Forests*. 2022;13:668. <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/5/668>
21. MGI: powering regional climate action. Combating climate change through collaboration, knowledge exchange and investments in the green economy. <https://www.greeninitiatives.gov.sa/about-mgi/>
22. Zalesny R. S., Pilipovic A. Growth and Development of Short-Rotation Woody Crops for Rural and Urban Applications. *Forests*. 2022;13(6):867. <https://doi.org/10.3390/f13060867>

Авторский вклад. Авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Authors of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Authors declare no conflict of interest.