

ИНТЕГРАЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ В ГОРОДСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ БЫСТРОРАСТУЩИХ ЗЕЛЕНых НАСАЖДЕНИЙ

В.А. Фролова¹, О.В. Чернышенко²✉

¹Казенное предприятие города Москвы «Выставка достижений народного хозяйства» (КП ВДНХ), Россия, 129223, г. Москва, пр-кт Мира, д. 119, стр. 230

²ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

tchernychenko@mgul.ac.ru

Рассмотрена интеграция концепции экосистемных услуг в городские климатические проекты для создания карбоновой фермы на заброшенных промышленных землях Москвы. Разработана технология высокоэффективной секвестрации диоксида углерода из атмосферы с учетом фиторемедиации почв. Выращивание древесных культур на деградированных землях посредством карбоновых ферм позволит сократить выбросы в атмосферу трех наиболее важных парниковых газов: диоксида углерода (CO₂), метана (CH₄) и закиси азота (N₂O). Для расчета экосистемных услуг древесных растений были выделены восемь типов зеленых территорий Москвы. Создание быстрорастущих зеленых насаждений предполагается на территориях пустырей и заброшенных промышленных районов. Площадь таких земель в каждом административной районе рассчитывалась в программе SAS Planet, при этом общая площадь в Москве составила около 3227,9 га. Предложен климатический проект по созданию карбоновой фермы с коротким севооборотом Short rotation woody crops (SRC). Для фиторемедиации загрязняющих веществ были выбраны 30 устойчивых в городе и быстрорастущих видов древесных растений. Создание ландшафта биологических коридоров обеспечит экосистемные услуги для региона, в том числе смягчение последствий изменения климата, увеличение поглощения диоксида углерода, улучшение взаимосвязанности лесных экосистем, расширение среды обитания и сохранение флоры и фауны в пределах Московского региона.

Ключевые слова: деградация земель, климатический проект, экосистемные услуги, биоразнообразие

Ссылка для цитирования: Фролова В.А., Чернышенко О.В. Интеграция концепции экосистемных услуг в городское планирование быстрорастущих зеленых насаждений // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2024. Т. 28. № 2. С. 34–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-34-44

Деградация земель, вызванная антропогенными процессами, усиливает выброс парниковых газов (ПГ) и снижает скорость поглощения углерода компонентами экосистемы [1]. По данным ООН, более 250 млн чел. в мире непосредственно страдают от деградации земель [2]. Одна из причин расширения деградации земель — постоянное увеличение количества захоронения промышленных и коммунальных отходов. Такие залежи вызывают множество экологических проблем, требующих новых решений с учетом региональных особенностей городских систем и ландшафтов [3, 4]. Деградацию земель можно остановить рекультивацией и восстановлением почв. Согласно Постановлению Правительства РФ № 800 от 10.07.2018 «О проведении рекультивации и консервации земель», рекультивация должна обеспечивать восстановление земель до состояния соответствия нормативам качества окружающей среды и требованиям законодательства Российской Федерации [5]. Рекультивации подлежат земли, нарушенные в результате строи-

тельства, добычи полезных ископаемых, захоронения промышленных отходов и в других производственных случаях. Такие земли используются в климатических проектах для создания зеленых насаждений во многих странах. Увеличение зеленых насаждений в городах, лесовосстановление и плантации являются основными методами восстановления среды обитания растений и животных, повышения плодородия почв для смягчения последствий деградации окружающей среды.

Посадка деревьев помогает бороться с проблемой опустынивания в крупнейшем проекте 2021 г «Ближневосточная зеленая инициатива, The Middle East Green Initiative (MGI)» [6]. Проектом предполагается восстановление земель в регионе путем посадки 50 млрд деревьев, подходящих для местных условий, и получения экосистемных выгод от снижения темпов опустынивания, эрозии почв, количества песчаных бурь и понижения местной температуры воздуха и поверхностей, для того чтобы регион стал более пригодным для жизни людей. Саудовская Аравия выделила 2,5 млрд дол. США на поддержку проекта MGI.

Главным в климатическом проекте по изменению землепользования является полный учет выбросов парниковых газов. При реализации проектов по смягчению последствий изменения климата оценка экосистемных услуг по защите водосборных бассейнов, сохранения биоразнообразия и поддержания необходимого уровня питательных веществ в почве может стать дополнительным средством экономической выгоды. Экосистемные услуги определяются как ценности, которые «люди извлекают из функционирующих экосистем, экологических характеристик, функций или процессов, которые прямо или косвенно способствуют благополучию человека» [7, 8]. Анализ и расчет экосистемных услуг включает верифицированные методы их количественного определения, выбор индикаторов для расчета и экономической оценки [9, 10]. Однако выбор индикатора достаточно сложен, так как его величина зависит от сочетания социальных и природных переменных. Чем больше экосистемных услуг доступно и хорошего качества, тем лучше для устойчивого развития города.

В РФ с 2022 г реализуется система обращения углеродных единиц, которая помогает компенсировать углеродный след продукции сокращением выбросов парниковых газов [11]. Климатические проекты по управлению зелеными насаждениями для компенсации выбросов парниковых газов рассматриваются как важный вариант смягчения последствий изменения климата и участия в углеродных рынках. Выращивание древесных культур на деградированных землях посредством карбоновых ферм позволит сократить выбросы в атмосферу трех наиболее важных парниковых газов: диоксида углерода (CO_2), метана (CH_4) и закиси азота (N_2O). Диоксид углерода CO_2 депонируется в «поглотителях», поглощаясь из атмосферы в процессе фотосинтеза растений. Городские карбоновые фермы необходимы для компенсации высоких выбросов углерода в городах, которые, как известно, являются источниками парниковых газов.

Цель работы

Цель работы — интеграция концепции экосистемных услуг в климатический проект по организации карбоновой фермы на заброшенных промышленных землях Москвы и разработка технологии высокоэффективной секвестрации диоксида углерода из атмосферы, используя фиторемедиацию деградированных почв.

Материалы и методы

Кафедра ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) совместно с ГПБУ

«Мосэкомониторинг» Департамента природопользования и охраны окружающей среды Москвы разработали Модель интеллектуального управления зеленым фондом Москвы. Модель базируется на расчетах количественной оценки экосистемных услуг озелененных и природных территорий Москвы для достижения устойчивости и экологической эффективности городских объектов ландшафтной архитектуры в ближайшие десятилетия.

Москва стоит на р. Москва в центре Восточно-Европейской равнины, площадь города составляет 2561 км². Отдельные ландшафты, каждый из которых имеет свои природные особенности, повлияли на формирование современного облика города. Климат в городе близок к умеренно-холодному климату. По данным метеонаблюдений за последние десять лет средняя годовая температура воздуха в Москве составляет 6,6 °С, в год выпадает около 719 мм осадков. Июль является самым теплым месяцем года: температура в июле в среднем 20,7 °С, именно в июле выпадает самое большое количество осадков, в среднем 78 мм. Зеленый фонд города включает в себя большое количество озелененных и природных территорий, которые занимают более 49 % его площади [12].

Для расчета экосистемных услуг зеленых насаждений мы выделили следующие типы зеленых территорий для Москвы с учетом международных классификаций [13]:

1. Зеленые фасады зданий и крыши (точечные объекты).
2. Городские зеленые насаждения внутри застроенных территорий (сильно фрагментированные небольшие площади).
3. Парки и городские леса (крупные массивы искусственного происхождения).
4. Участки, пригодные для садоводства, и выращивания съедобной растительности
5. Водные пространства (включая также пространства с растительностью).
6. Пустыри и заброшенные промышленные районы.
7. Природные зеленые и водные пространства, а также территории, возникшие в результате естественного возобновления (без участия человека).
8. Другие городские зеленые пространства — неопределенная растительность.

Городские открытые пространства, которые еще не застроены, например, пустыри и заброшенные промышленные районы, могут быть использованы для проектов озеленения и обеспечения множества экологических функций и экосистемных услуг. Для определения площади пустырей в качестве подосновы были выбраны спутниковые карты компании «Yandex». «Нарезка» спутниковых снимков определенной территории

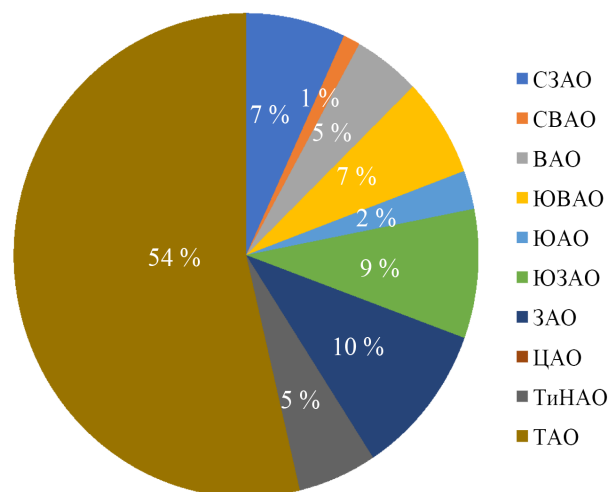


Рис. 1. Распределение площадей пустырей и заброшенных промышленных районов (%) по административным округам Москвы

Fig. 1. Distribution of vacant lots and abandoned industrial areas (%) by administrative districts of the city of Moscow

осуществлялась в программе SAS Planet. Первым этапом работы было деление территории Москвы на округа и районы, затем установление границ каждого района. Вторым этапом работы было определение правового режима земельных участков и территорий в каждом районе. При анализе территорий источником информации служили: Публичная кадастровая карта, Яндекс Карты, данные Федеральной службы государственной статистики, а также натурные обследования некоторых объектов [14–16].

Полученные данные по административным округам представлены на рис. 1. Максимальная площадь пустырей и заброшенных промышленных районов находится в ТАО и составила около 1438,8 км². Минимальная площадь пустырей наблюдается в СВАО и составляет около 31,6 км². По процентному соотношению площади пустырей и заброшенных промышленных районов к общей площади административного округа можно выделить следующие категории:

- 1) отсутствие пустырей и брошенных промышленных районов — ЦАО;
- 2) площадь пустырей меньше 1 % — СВАО, ВАО, ЮАО, ТиНАО;
- 3) площадь пустырей от 1,1 до 2 % — СЗАО, ЮВАО, ЗАО;
- 4) площадь пустырей свыше 2, 1 % — ЮЗАО, ТАО.

Результаты и обсуждение

По расчетам авторов общая площадь пустырей и заброшенных промышленных районов на территории города составила около 3227,9 га. Такие заброшенные земельные участки появились в результате промышленного роста, технологических

изменений, закрытия старых заводов, к ним можно также отнести заброшенные месторождения, водоочистные сооружения, не используемые сельскохозяйственные поля и др. Эти территории представляют собой земли, поврежденные предыдущей промышленной или иной застройкой и их невозможно использовать в градостроительстве. Это земли с физическими и/или экологическими ограничениями, они фактически являются заброшенными и недостаточно используемыми или недооцененными участками по сравнению с другими типами пустующих земель. В основном, это постиндустриальные объекты, которые, как правило, являются результатом промышленного роста и упадка, изменения политики зонирования или отказа от старых элементов инфраструктуры. Очень часто заброшенный постиндустриальный объект оказывается сильно загрязненным промышленным или иным развитием, и его невозможно использовать повторно без рекультивации. На таких территориях произрастают единичные деревья, недостаточно оптимальных мест для посадки растений, большое количество непроницаемых покрытий и зданий. Однако современные фитотехнологии, облегчающие восстановление почв городских пустырей, становятся все более доступными. Многие из постиндустриальных объектов уже рекультивированы.

Современные методы рекультивации включают выемку грунта, химическую и термическую обработку, а также сжигание [17–19]. Однако такие методы сопряжены с высокими эксплуатационными расходами, негативно влияют на биологическое плодородие почвы для нового использования, не подходят для очистки грунта на больших площадях. В последнее время все больший интерес с точки зрения экологической устойчивости вызывают альтернативные методы, так как почва является невозобновляемым ресурсом. Фитотехнологии с использованием микроорганизмов или растений, включают экологически чистые методы восстановления. Можно выделить фиторемедиацию как экологически безопасную и экономически эффективную практику, особенно в городских районах, где загрязняющие вещества присутствуют в относительно низких концентрациях [20]. Более того, фиторемедиация на городских и пригородных участках может быть использована на относительно короткий срок. Эти два аспекта — экологический и оптимальные сроки рекультивации достаточно уникальны для городских и пригородных районов, делают фиторемедиацию особенно привлекательным методом [21]. В основу технологических решений проекта карбоновой фермы были выбраны быстрорастущие клоны и сорта из родов *Populus sp.* и *Salix sp.*, которые наиболее изучены как древесные культуры

и фитоэкстракторы [22, 23]. Двухлетний эксперимент с использованием карбоновой фермы с коротким севооборотом (Short rotation woody crops (SRC)) на городском участке, загрязненном цинком, провели в г. Турине, Итальянская Республика [24]. После деиндустриализации металлургической промышленности обширные территории предприятий были заброшены. Большая часть бывших промышленных территорий была отведена под зеленую инфраструктуру, такую как парки и другие типы общественных пространств. Однако восстановление зеленых зон столкнулось с проблемой загрязнения почвы. На наиболее загрязненных участках применялись классические методы рекультивации, оставляя умеренно загрязненные участки. Почва территории, выбранной для карбоновой фермы, была загрязнена тяжелыми металлами, превышающими ПДК для зеленых и жилых зон по итальянскому законодательству. Для посадок использовались девять древесных видов с быстрым ростом и большим производством биомассы: клоны *Populus sp.*, *Salix sp.* и *Robinia sp.* Карбоновая ферма SRC оказалась экономичным и эффективным решением для управления загрязненными городскими территориями Турина, сочетающим производство биомассы и преимущества ландшафта.

В нашем проекте для преодоления негативных факторов влияния на рост растений был выбран тип карбоновой фермы с коротким севооборотом (SRC) [25], поскольку она оказывает наибольший положительный эффект на деградированные почвы, уменьшая количество загрязняющих веществ [26]. Древесные быстрорастущие породы выращиваются для получения высоких урожаев биомассы за короткий период времени (2...10 лет) и секвестрации углерода в тканях растений. Предложенная концепция для рекультивации пустырей и брошенных промышленных районов включает в себя разработку устойчивой и экологичной технологии фиторемедиации с использованием древесных растений при различной плотности посадки, микробиологических организмов, почвенных добавок, с внесением бактериальных удобрений, биоугля, наряду со снижением затрат на складирование отходов и получением экосистемных услуг. В долгосрочной перспективе такие технологии должны решить проблемы загрязнения окружающей среды в Москве. Стратегией проекта предусматриваются исследования по производству биомассы, содействие природным биогеохимическим циклам, восстановление биоразнообразия мест обитания и видов, создание многолетнего углеродного пула.

Для фиторемедиации загрязняющих почвы веществ были выбраны 30 устойчивых в городе и быстрорастущих видов древесных растений,



Рис. 2. Выращивание гибридных тополей по типу SRC, Институт лесной генетики Иоганна Генриха фон Тюннена (ФРГ)

Fig. 2. Cultivation of hybrid poplars by SRC type, Johann Heinrich von Thunen Institute of Forest Genetics (FRG)



Рис. 3. Выращивание ивы по типу SRC, Институт лесной генетики Иоганна Генриха фон Тюннена (ФРГ)

Fig. 3. Cultivation of willow by SRC type, Johann Heinrich von Thunen Institute of Forest Genetics (Germany)

предотвращающих миграцию почвенных загрязнителей в результате ветровой и водной эрозии, выщелачивание и рассеивание почв, содержание в них стабилизирующих металлов (например, меди, свинца) путем их поглощения и накопления корнями, адсорбцию корневой системой или осаждение в ризосфере. Тополь и ива (рис. 2, 3) используются для фиторемедиации в целях очистки почвы от тяжелых металлов или опасных органических соединений. Многие выбранные древесные виды не являются гипераккумуляторами опасных загрязнителей, однако предложенные агротехнические методы управления SRC обеспечат их быстрый рост и повышенную секвестрацию атмосферного углерода. Почвенные добавки микоризных грибов повысят стрессоустойчивость древесных пород, обеспечат корни макроэлементами



Рис. 4. Плантация гледичии. Институт лесной генетики Иоганна Генриха фон Тюннена (ФРГ)

Fig. 4. Gleditsiya plantation. Johann Heinrich von Thunen Institute of Forest Genetics (FRG)



Рис. 5. Плантация тополя (трехлетние побеги на многолетних корнях) и накопление углерода в верхнем слое почвы. Институт лесной генетики Иоганна Генриха фон Тюннена (ФРГ)

Fig. 5. Poplar plantation (3-year-old shoots on perennial roots) and accumulation of C in the upper soil layer. Johann Heinrich von Thunen Institute of Forest Genetics (FRG)

и будут способствовать поглощению воды. Робиния и гледичия (рис. 4) выбраны для улучшения почвы благодаря своей способности создавать симбиотические взаимодействия с азотфиксирующими бактериями [27–32]. Чередование культур с гледичией и робинией обеспечит некоторые преимущества для фитоэкстракционных и фитостабилизирующих древесных культур, например ивы и тополя. Урожай древесины можно будет собирать через короткий промежуток времени — всего 2–3 года, поэтому древесные растения выращиваются как поросль (см. рис. 4). Предлагаются для выращивания и другие древесные виды природной флоры Московского региона (рис. 5). Средняя плотность посадки на коммерческих плантациях SRC составляет до 13 000 черенков на 1 га. Более плотные посадки — до 25 000 растений на 1 га — показывают, что текущие методы управления должны осуществляться с максимальными затратами в целях повышения продуктивности карбоновой фермы. Высокая плотность посадки приводит к снижению производства биомассы, более высокому риску заболеваний вследствие возможного распространения болезней и вредителей.

В данный проект также включен быстрорастущий древесный вид — павловния войлочная (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud., 1841), которая встречается в озеленении многих городов мира и Москве в качестве декоративного вида (рис. 6). Павловния входит в число самых быстрорастущих деревьев на планете. В 2015 г. культура Павловния была внесена в Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории России. Род Павловния *Paulownia sp.* 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 оказывают положительное влияние на ее динамику роста. За последние 20 лет исследования по выращиванию павловнии проводились в странах Азии, США, Австралии, странах Европы, Центральной Африки [33]. Павловния войлочная признана инвазивным видом в Австрии, поэтому только некоторые ее гибриды были допущены к промышленному выращиванию. Урожайность сухой биомассы на второй год выращивания саженцев изменяется от 1,5 до 14 т на 1 га в зависимости от условий произрастания. На плантациях павловнии для производства биомассы высаживают 2000...3300 растений на 1 га, для производства древесины 550...750 деревьев на 1 га, для получения круглого леса гибриды павловнии выращиваются короткими, 6–10-летними циклами; для биомассы эти циклы могут быть еще короче.



а



б

Рис. 6. Использование павлонии войлочной в озеленении городов: а — Париж, Люксембургский сад; б — Москва, пл. Цезаря Куникова

Fig. 6. The use of *Paulownia felt* in urban landscaping: а — Paris; б — Moscow

Павлония выращивается в целях производства древесной биомассы для энергетической и целлюлозной промышленности, создания древесных пластиков и композитов, биополимеров, производства древесно-стружечных плит, изготовления мебели, фанеры, бумаги, изделий ручной резьбы [34]. Основными ограничениями, значительно снижающими рост саженцев и производство биомассы, являются более корот-



Рис. 7. Сбор урожая с тополей, щепа используется для производства энергии. Институт лесной генетики Иоганна Генриха фон Тюннена (ФРГ)

Fig. 7. Harvesting from poplars, wood chips are used for energy production. Johann Heinrich von Thunen Institute of Forest Genetics (FRG)

кий вегетационный период, а также весенние и осенние заморозки.

Предложенный проект карбоновой фермы для Москвы должен функционировать как жизненно важная природная система, поддерживать продуктивность растений и животных, улучшать качество воды и воздуха, способствовать получению экосистемных услуг в результате биологических процессов, возникающих в результате сложных взаимодействий в природе.

Создание карбоновой фермы с использованием многих видов древесных растений влияет на ее экологическую многофункциональность. Лиственные древесные растения карбоновой фермы обеспечивают устойчивый источник производства биомассы (рис. 7) [35–37], которая может быть использована для получения биопродуктов, производства биоэнергии, создания древесно-стружечных плит и др. [38].

Биоразнообразие растений и животных зависит от возраста плантации. Условия обитания видов будут зависеть от пространственной структуры, плотности насаждений, количества древесных видов, тенистости крон и влажности воздуха и почвы. Большинство сообществ птиц и млекопитающих SRC состоят из видов, встречающихся на открытой местности и в лесах данного региона.

Выводы

Климатический проект по созданию карбоновой фермы основан на изменении землепользования на пустырях и брошенных промышленных районах в Москве. Предполагается восстановление деградированных земель, а создание ландшафта биологических коридоров обеспечит экосистемные услуги для региона, в том числе смягчение последствий изменения климата, уве-

личение поглощения диоксида углерода, улучшение взаимосвязанности лесных экосистем, расширение среды обитания и сохранение флоры и фауны в пределах Московского региона. Проект разработан в соответствии с требованиями, критериями и показателями, установленным Правилами верификации результатов реализации климатических проектов [39], окажет положительное воздействие на сохранение биоразнообразия в пределах проектной зоны и ее окрестностей. Биоразнообразие будет изменяться в зависимости от возраста древостоя с учетом применения методов управления карбоновой фермой и формирования устойчивости создаваемых экосистем. Различные подходы к измерению биоразнообразия и полученные данные можно использовать в моделях оптимизации и оценки экосистемных услуг.

Реализация данного проекта позволит разработать научно-обоснованные принципы создания карбоновой фермы на пустырях и заброшенных промышленных землях для повышенной секвестрации атмосферного углерода в условиях Московского региона.

Список литературы

- [1] Global assessment of soil pollution – Summary for policy makers. Rome, FAO/ FAO and UNEP. 2021. URL: <https://www.fao.org/3/cb4827en/cb4827en.pdf> (дата обращения 06.04.2023).
- [2] Scholes R., Montanarella L., Brainich A., Barger N., Ten Brink B., Cantele M., Erasmus B. Summary for policy-makers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany: IPBES secretariat, 2018, 44 p.
- [3] Borrellia P., Robinsone D.A., Panagos P., Lugatod E., Yangb J.E., Alewella C., Wueppere D. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070), 2020, 8 p. URL: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2001403117> (дата обращения 06.04.2023).
- [4] 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.
- [5] Постановление Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 «О проведении рекультивации и консервации земель» (вместе с «Правилами проведения рекультивации и консервации земель»). 18 с. URL: <https://grn.gov.ru/upload/iblock/81f/Постановление%20Правительства%20РФ%20от%2010.07.2018%20N%20800.pdf> (дата обращения 06.04.2023).
- [6] MGI: powering regional climate action. Combating climate change through collaboration, knowledge exchange and investments in the green economy. URL: <https://www.greeninitiatives.gov.sa/about-mgi/> (дата обращения 06.04.2023).
- [7] Bastian O., Haase D., Grunewald K. Ecosystem properties, potentials and Services – The EPPS conceptual framework and an urban application example // *Ecol. Indic.*, 2012, v. 21, pp. 7–16. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.014>
- [8] Buchel S., Frantzeskaki N. Citizens' voice: a case study about perceived ecosystem services by urban park users in Rotterdam, the Netherlands // *Ecosystem Services*, 2015, v. 12, pp. 169–177.
- [9] Koschke L., Furst C., Frank S., Makeschin F. A multi criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning // *Ecol. Indic.*, 2012, v. 21, pp. 54–66. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.010> Elsevier Ltd
- [10] Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Т. 1. Услуги наземных экосистем / под ред. Е.Н. Букваревой, Д.Г. Замолодчикова. М.: Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. 148 с.
- [11] Постановление Правительства РФ от 30 апреля 2022 г. № 790 «Об утверждении Правил создания и ведения реестра углеродных единиц, а также проведения операций с углеродными единицами в реестре углеродных единиц», 16 с. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205050004> (дата обращения 06.04.2023).
- [12] Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2019 году / Под ред. А.О. Кульбачевского. М., 2020. 222 с. URL: <https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/view/240948220/> (дата обращения 06.04.2023).
- [13] Cvejić R., Eler R., Pintar M., Železnikar S., Haase D., Kabisc, N., Strohbach M. A typology of urban green spaces, ecosystem services provisioning services and demands. Report D3.1 of the EU-funded Green Surge Project, 2015, 68 p. URL: <https://assets.centralparknyc.org/pdfs> (дата обращения 06.04.2023).
- [14] Публичная кадастровая карта РФ – онлайн версия 2019 года. URL: <https://lk.kartagov.net/> (дата обращения 06.04.2023).
- [15] Карта Москвы. URL: <https://www.moscowmap.ru/karta-moskvy.html> (дата обращения 06.04.2023).
- [16] Москва в цифрах: от переписи к переписи. URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/131933> (дата обращения 06.04.2023).
- [17] Biasioli M., Ajmone-Marsan F. Organic and inorganic diffuse contamination in urban soils: The case of Torino (Italy) // *J. Environ. Monit.*, 2007, v. 9, pp. 862–868.
- [18] Капелькина Л.П., Скорик Ю.И. Нормативные основы рекультивации земель в местах размещения отходов производства и потребления // *Экология урбанизированных территорий*, 2009. № 2. С. 86–80.
- [19] Капелькина Л.П. Рекультивация нарушенных земель в Кузбассе (На примере породных отвалов шахты «Нагорная») // *Региональная экология*, 2013. № 1–2 (34). С. 143–152.
- [20] Masloboev V.A., Evdokimova G.A. Bioremediation of oil product contaminated soils in conditions of North Near-Polar Area // *Proceedings of the MSTU*, 2012, v. 15, no. 2, pp. 357–360.
- [21] Zalesny R.S., Pilipovic A. Growth and Development of Short-Rotation Woody Crops for Rural and Urban Applications // *Forests*, 2022, no. 13, v. 867, 9 p. <https://doi.org/10.3390/f13060867>
- [22] Галиулин Р.В. Кочуров Б.И. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами // *Теоретическая и прикладная экология*, 2009. № 4. С. 71–75.
- [23] Yuen S.T.S., Salt M., Sun J. Phytocapping as a sustainable cover for waste containment systems: experience of the A-ACAP study // *Sardinia 2011: Proceedings of the Thirteenth Int. Waste Management and Landfill Symp., held in Sardinia, Italy, 3–7 October, 2011*, pp.1–8. <https://hdl.handle.net/2440/71789>.

- [24] Padoan E., Passarella I., Prati M., Bergante S., Facciotto G., Ajmone-Marsan F. The Suitability of Short Rotation Coppice Crops for Phytoremediation of Urban Soils // *Appl. Sci.*, 2020, no. 10(1), p. 307. <https://doi.org/10.3390/app10010307>
- [25] Courchesne F., Turmel M.C., Cloutier-Hurteau B. Phytoextraction of soil trace elements by willow during a phytoremediation trial in Southern Québec, Canada // *Int. J. Phytoremediation*, 2017, v. 19, pp. 545–554.
- [26] Ghezeheia S.B., Ghezeheia S.B., Wrightb J. Matching site-suitable poplars to rotation length for optimized productivity // *Forest Ecology and Management*, 2020, no. 457, v. 117670, 9 p.
- [27] Евдокимова Г.А. Почвенная микробиота как фактор устойчивости почв к загрязнению // *Теоретическая и прикладная экология*, 2014. № 2. С. 17–24.
- [28] Тимофеева С.С., Ульрих Д.В. Технологии фиторемедиации на техногенно-поврежденных территориях в условиях Восточной Сибири и Южного Урала // *Безопасность в техносфере*, 2016. № 6. С. 16–23.
- [29] 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.
- [30] Башкин В.Н., Галиулин Р.В. Рекультивация нарушенных почв на Тазовском полуострове // *Жизнь Земли*, 2020. № 42(2). С. 153–159.
- [31] Чернышенко О.В. Экологические аспекты применения современных фитотехнологий в городе // Сборник материалов XX Междунар. научно-практического форума «Проблемы озеленения крупных городов». Сборник материалов форума в рамках Международной выставки «Цветы–2018», 2018. С. 48–51.
- [32] Жданов А.С., Волкова Л.П., Чернышенко О.В. Оценка потенциала территории ПККО «Сокольники» в депонировании углерода // *Научные основы устойчивого управления лесами. Материалы IV Всерос. науч. конф. с междунар. участием*. М.: ЦЭПЛ РАН, 2020. С. 32–34.
- [33] Jakubowski M. Cultivation Potential and Uses of Paulownia Wood: A Review // *Forests*, 2022, no. 13, v. 668, 15 p.
- [34] Spirchez C., Japalela V., Lunguleasa A., and Buduroi D. Analysis of briquettes and pellets obtained from two types of Paulownia (*Paulownia tomentosa* and *Paulownia elongata*) sawdust // *BioResources*, 2021, v. 16(3), pp. 5083–5096.
- [35] Vanbeveren S.P.P., Ceulemans R. Biodiversity in short-rotation coppice // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, v. 111, pp. 34–43.
- [36] Фролова В.А., Чернышенко О.В. Потенциальные преимущества деревьев-интродуцентов для поддержания экосистемных услуг в городе // *Труды по интродукции и акклиматизации растений*. Ижевск: Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения РАН, 2021. С. 534–537.
- [37] Васильев С.Б., Чернышенко О.В. К вопросу формирования банка данных о запасах углерода в фитомассе древесных растений // *Сб. науч. тр. ГНБС*, 2018. Т. 147. С. 27–28.
- [38] Dumitrascu A.-E., Lunguleasa A., Salca E.-A., Ciobanu V.D. Evaluation of Selected Properties of Oriented Strand Boards Made from Fast Growing Wood Species // *BioResources*, 2019, v. 15(1), pp. 199–210.
- [39] ГОСТ Р ИСО 14064-3-2021 Национальный стандарт Российской Федерации Газы парниковые. Ч. 3. Требования и руководство по валидации и верификации заявлений в отношении парниковых газов URL: <https://docs.cntd.ru/document/726720621?ysclid=ls94nly-uzk215988104> (дата обращения 06.04.2023).

Сведения об авторах

Фролова Вера Алексеевна — канд. с.-х. наук, доцент, начальник отдела по работе с резидентами Управления постоянных экспозиций Департамента музейно-выставочной, образовательной и экскурсионной деятельности КП ВДНХ, frolova.v@vdnh.ru

Чернышенко Оксана Васильевна [✉] — д-р биол. наук, профессор кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), tchernyuchenko@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 10.04.2023.

Одобрено после рецензирования 12.01.2024.

Принята к публикации 07.02.2024.

FAST-GROWING PLANTATIONS AS PHYTOREMEDIATION OF DEGRADED LANDS AND THEIR ECOSYSTEM SERVICES

V.A. Frolova¹, O.V. Chernyshenko²✉

¹The joint venture of the city of Moscow «Exhibition of achievements of the national economy» (KP VDNH), 119, build. 230, Mira av., 129223, Moscow, Russia

²BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

tchernyshenko@mgul.ac.ru

Experts on validation and verification of reporting on greenhouse gas emissions and uptake of Bauman Moscow State Technical University (National Research University) began to develop a climate project in 2022. A solid waste landfill Joint-stock Company «VTZ» was selected for the design. The purpose of the work is to create a concept of a climate project for the organization of a carbon farm and a technology for highly efficient sequestration of carbon dioxide from the atmosphere in the arid climate of the steppe zone. The research was carried out on an area of about 5 hectares. Experimental sites with boundary markings were selected, as well as control sites for the baseline scenario, and a reconnaissance survey was conducted. The data of the complex analysis of the territory formed the basis of technological solutions for carbon farm models. We have chosen a type of carbon farm with a short crop rotation Short rotation woody crops (SRC) in order to improve plant growth in extreme growing conditions. The proposed concept includes the development of sustainable and environmentally friendly phytoremediation technology using woody plants, various planting densities, microbiological organisms, soil additives, the introduction of bacterial fertilizers, bio-coal, irrigation schemes, reducing waste storage costs, providing ecosystem services. Research will be carried out on the production of biomass, the promotion of the natural biogeochemical cycle, the restoration of biodiversity — habitats and species, the creation of a multi-year carbon pool. The implementation of the project will make it possible to develop scientifically sound principles for the creation of a carbon farm on landfills of solid industrial waste for increased sequestration of atmospheric carbon in the arid climate of the steppe zone.

Keywords: land degradation, climate project, ecosystem services, biodiversity

Suggested citation: Frolova V.A., Chernyshenko O.V. *Integratsiya kontseptsii ekosistemnykh uslug v gorodskoe planirovanie bystrorastushchikh zelenykh nasazhdeniy* [Fast-growing plantations as phytoremediation of degraded lands and their ecosystem services]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2024, vol. 28, no. 2, pp. 34–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-2-34-44

Reference

- [1] Global assessment of soil pollution – Summary for policy makers. Rome, FAO/ FAO and UNEP, 2021. Available at: <https://www.fao.org/3/cb4827en/cb4827en.pdf>. (accessed 06.04.2023).
- [2] Scholes R., Montanarella L., Brainich A., Barger N., Ten Brink B., Cantele M., Erasmus B. Summary for policymakers of the assessment report on land degradation and restoration of the Intergovernmental Science Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Bonn, Germany: IPBES secretariat, 2018, 44 p.
- [3] Borrellia P., Robinsonc D.A., Panagosd P., Lugatod E., Yangb J.E., Alewella C., Wueppere D. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070), 2020, 8 p. Available at: <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2001403117> (accessed 06.04.2023).
- [6] MGI: powering regional climate action. Combating climate change through collaboration, knowledge exchange and investments in the green economy. Available at: <https://www.greeninitiatives.gov.sa/about-mgi/> (accessed 06.04.2023).
- [4] Kulik K.H., Rulev A.C., Yuferev V.G. *Distantionno-kartograficheskaya otsenka degradatsionnykh protsessov v agrolandshaftakh yuga Rossii* [Remote-cartographic assessment of degradation processes in agricultural landscapes of southern Russia]. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i Vysshee professional'noe obrazovanie* [News of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], 2009, no. 4 (16), pp. 12–25.
- [5] *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 10.07.2018 № 800 «O provedenii rekul'tivatsii i konservatsii zemel'» (vmeste s «Pravilami provedeniya rekul'tivatsii i konservatsii zemel'»)* [Decree of the Government of the Russian Federation dated July 10, 2018, no. 800 «On land reclamation and conservation» (together with the «Rules for land reclamation and conservation»)], 18 p. Available at: <https://rpn.gov.ru/upload/iblock/81f/Resolution%20of%20the%20Government%20of%20the%20RF%20from%2010.07.2018%20№%20800.pdf> (accessed 04/06/2023).
- [7] Bastian O., Haase D., Grunewald K. Ecosystem properties, potentials and Services – The EPPS conceptual framework and an urban application example. *Ecol. Indic*, 2012, v. 21, pp. 7–16. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.014>
- [8] Buchel S., Frantzeskaki N. Citizens' voice: a case study about perceived ecosystem services by urban park users in Rotterdam, the Netherlands. *Ecosystem Services*, 2015, v. 12, pp. 169–177.
- [9] Koschke L., Furst C., Frank S., Makeschin F. A multi criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem provision services to support landscape planning. *Ecol. Indic*, 2012, v. 21, pp. 54–66. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.010> Elsevier Ltd
- [10] *Ekosistemnye uslugi Rossii: Prototip natsional'nogo doklada. T. 1. Uslugi nazemnykh ekosistem* [Ecosystem services of Russia: Prototype of a national report. T. 1. Terrestrial ecosystem services]. Eds. E.N. Bukvareva, D.G. Zamolodchikov. Moscow: Publishing house of the Center for Wildlife Conservation, 2016, 148 p.
- [11] *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 30 aprelya 2022 g. № 790 «Ob utverzhdenii Pravil sozdaniya i vedeniya reestra uglerodnykh edinits, a takzhe provedeniya operatsiy s uglerodnymi edinitsami v reestre uglerodnykh edinits»* [Decree of the Government of the Russian Federation of April 30, 2022 No. 790 «On approval of the Rules for creating and maintaining a register

- of carbon units, as well as conducting transactions with carbon units in the register of carbon units», 16 p. Available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202205050004> (accessed 06.04.2023).
- [12] *Doklad o sostoyanii okruzhayushchey sredy v gorode Moskve v 2019 godu* [Report on the state of the environment in Moscow in 2019]. Ed. A.O. Kulbachevsky. Moscow, 2020, 222 p. Available at: <https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/view/240948220/> (accessed 06.04.2023).
- [13] Cvejić R., Eler R., Pintar M., Železnikar S., Haase D., Kabisc, N., Strohbach M. A typology of urban green spaces, ecosystem services provisioning services and demands. Report D3.1 of the EU-funded Green Surge Project, 2015, 68 p. Available at: <https://assets.centralparknyc.org/pdfs> (accessed 06.04.2023).
- [14] *Publichnaya kadaastrovaya karta RF – onlayn versiya 2019 goda* [Public cadastral map of the Russian Federation – online version 2019]. Available at: <https://lk.kartagov.net/> (access date 04/06/2023).
- [15] *Karta Moskvy* [Map of Moscow]. Available at: <https://www.moscowmap.ru/karta-moskvy.html> (accessed 06.04.2023).
- [16] *Moskva v tsifrakh: ot perepisi k perepisi* [Moscow in numbers: from census to census]. Available at: <https://rosstat.gov.ru/folder/313/document/131933> (accessed 06.04.2023).
- [17] Biasioli M., Ajmone-Marsan F. Organic and inorganic diffuse contamination in urban soils: The case of Torino (Italy). *J. Environ. Monit.*, 2007, v. 9, pp. 862–868.
- [18] Kapel'kina L.P., Skorik Yu.I. *Normativnye osnovy rekul'tivatsii zemel' v mestakh razmeshcheniya otkhodov proizvodstva i potrebleniya* [Regulatory framework for land reclamation in places where production and consumption waste is disposed]. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* [Ecology of urbanized territories], 2009, no. 2, pp. 86–80.
- [19] Kapel'kina L.P. *Rekul'tivatsiya narushennykh zemel' v Kuzbasse (Na primere porodnykh otvalov shakhty «Nagornaya»)* [Reclamation of disturbed lands in Kuzbass (On the example of rock dumps of the Nagornaya mine)]. *Regional'naya ekologiya* [Regional ecology], 2013, no. 1–2 (34), pp. 143–152.
- [20] Masloboev V.A., Evdokimova G.A. Bioremediation of oil product contaminated soils in conditions of North Near-Polar Area. *Proceedings of the MSTU*, 2012, v. 15, no. 2, pp. 357–360.
- [21] Zalesny R.S., Pilipovic A. Growth and Development of Short-Rotation Woody Crops for Rural and Urban Applications. *Forests*, 2022, no. 13, v. 867, 9 p. <https://doi.org/10.3390/f13060867>
- [22] Galiulin R.V., Kochurov B.I. *Fitoremediatsiya pochv, zagryaznennykh tyazhelymi metallami* [Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2009, no. 4, pp. 71–75.
- [23] Yuen S.T.S., Salt M., Sun J. Phytocapping as a sustainable cover for waste containment systems: experience of the A-ACAP study. Sardinia 2011: Proceedings of the Thirteenth Int. Waste Management and Landfill Symp., held in Sardinia, Italy, 3–7 October, 2011, pp. 1–8. <https://hdl.handle.net/2440/71789>.
- [24] Padoan E., Passarella L., Prati M., Bergante S., Facciotto G., Ajmone-Marsan F. The Suitability of Short Rotation Coppice Crops for Phytoremediation of Urban Soils. *Appl. Sci.*, 2020, no. 10(1), p. 307. <https://doi.org/10.3390/app10010307>
- [25] Courchesne F., Turmel M.C., Cloutier-Hurteau B. Phytoextraction of soil trace elements by willow during a phytoremediation trial in Southern Québec, Canada. *Int. J. Phytoremediation*, 2017, v. 19, pp. 545–554.
- [26] Ghezeheia S.B., Ghezeheia S.B., Wrightb J. Matching site-suitable poplars to rotation length for optimized productivity. *Forest Ecology and Management*, 2020, no. 457, v. 117670, 9 p.
- [27] Evdokimova G.A. *Pochvennaya mikrobiota kak faktor ustoychivosti pochv k zagryazneniyu* [Soil microbiota as a factor of soil resistance to pollution]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* [Theoretical and Applied Ecology], 2014, no. 2, pp. 17–24.
- [28] Timofeeva S.S., Ul'rikh D.V. *Tekhnologii fitoremediatsii na tekhnogenno-povrezhdennykh territoriyakh v usloviyakh Vostochnoy Sibiri i Yuzhnogo Urala* [Phytoremediation technologies in technogenically damaged areas in the conditions of Eastern Siberia and the Southern Urals]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in the technosphere], 2016, no. 6, pp. 16–23.
- [29] Arabskiy A.K., Bashkin V.N., Galiulin R.V. *Innovatsionnaya tekhnologiya rekul'tivatsii pochv, realizuemaya na Tazovskom poluostrove (Yamalo-Nenetskiy avtonomnyy okrug)* [Innovative technology for soil reclamation, implemented on the Tazovsky Peninsula (Yamalo-Nenets Autonomous Okrug)]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Labor safety in industry], 2018, no. 3, pp. 68–72.
- [30] Bashkin V.N., Galiulin R.V. *Rekul'tivatsiya narushennykh pochv na Tazovskom poluostrove* [Reclamation of disturbed soils on the Tazovsky Peninsula]. *Zhizn' Zemli* [Life of the Earth], 2020, no. 42(2), pp. 153–159.
- [31] Chernyshenko O.V. *Ekologicheskie aspekty primeneniya sovremennykh fitotekhnologiy v gorode* [Environmental aspects of the use of modern phytotechnologies in the city]. *Sbornik materialov XX Mezhdunar. nauchno-prakticheskogo foruma «Problemy ozeleneniya krupnykh gorodov»*. *Sbornik materialov foruma v ramkakh Mezhdunarodnoy vystavki «Tsvety–2018»* [Collection of materials of the XX International. scientific and practical forum «Problems of landscaping in large cities». Collection of forum materials within the framework of the International Exhibition «Flowers-2018»], 2018, pp. 48–51.
- [32] Zhdanov A.S., Volkova L.P., Chernyshenko O.V. *Otsenka potentsiala territorii PKiO «Sokol'niki» v deponirovaniy ugleroda* [Assessment of the potential of the territory of the Sokolniki Park for carbon sequestration]. *Nauchnye osnovy ustoychivogo upravleniya lesami. Materialy IV Vseros. nauch. konf.s mezhdunar. uchastiem* [Scientific foundations of sustainable forest management. Materials IV All-Russian. scientific conf.s int. participation]. Moscow: Cepl RAS, 2020, pp. 32–34.
- [33] Jakubowski M. Cultivation Potential and Uses of Paulownia Wood: A Review. *Forests*, 2022, no. 13, v. 668, 15 p.
- [34] Spirchez C., Japalela V., Lunguleasa A., and Buduroi D. Analysis of briquettes and pellets obtained from two types of Paulownia (*Paulownia tomentosa* and *Paulownia elongata*) sawdust. *BioResources*, 2021, v. 16(3), pp. 5083–5096.
- [35] Vanbeveren S.P.P., Ceulemans R. Biodiversity in short-rotation coppice. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, v. 111, pp. 34–43.
- [36] Frolova V.A., Chernyshenko O.V. *Potentsial'nye preimushchestva derev'ev-introdutsentov dlya podderzhaniya ekosistemnykh uslug v gorode* [Potential benefits of introduced trees for maintaining ecosystem services in the city]. *Trudy po introduktsii i akklimatizatsii rasteniy* [Proceedings on the introduction and acclimatization of plants]. Izhevsk: Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2021, pp. 534–537.

- [37] Vasil'ev S.B., Chernyshenko O.V. *K voprosu formirovaniya banka dannykh o zapasakh ughleroda v fitomasse drevesnykh rasteniy* [On the issue of forming a data bank on carbon reserves in the phytomass of woody plants]. Sb. nauch. tr. GNBS [Coll. scientific tr. GNBS], 2018, t. 147, pp. 27–28.
- [38] Dumitrascu A.-E., Lunguleasa A., Salca E.-A., Ciobanu V.D. Evaluation of Selected Properties of Oriented Strand Boards Made from Fast Growing Wood Species. *BioResources*, 2019, v. 15(1), pp. 199–210.
- [39] GOST R ISO 14064-3-2021 *Natsional'nyy standart Rossiyskoy Federatsii Gazy parnikovyye. Ch. 3. Trebovaniya i rukovodstvo po validatsii i verifikatsii zayavleniy v otnoshenii parnikovyykh gazov* [National standard of the Russian Federation Greenhouse gases. Part 3. Requirements and guidance for validation and verification of statements regarding greenhouse gases]. Available at: <https://docs.cntd.ru/document/726720621?ysclid=ls94nlyuzk215988104> (accessed 06.04.2023).

Authors' information

Frolova Vera Alekseevna — Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, State-owned enterprise VDNH, frolova.v@vdnh.ru

Chernyshenko Oksana Vasil'evna ✉ — Dr. Sci. (Biology), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), tchernyshenko@mgul.ac.ru

Received 10.04.2023.

Approved after review 12.01.2024.

Accepted for publication 07.02.2024.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest