

14. Smelansky I.E., Tishkov A.A. The Steppe Biome in Russia: Ecosystem Services, Conservation Status, and Actual Challenges // Eurasian Steppes. Ecological Problems and Livelihoods in a Changing World, Plant and Vegetation. – 2012. – Vol. 6. – Springer, Dordrecht. – Pp. 45-101.

15. Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Zolotukhin N.I., Titova S.V., Tsarevskaya N.G., Chendev Yu.G. Preserved Sections of Steppes as the Basis for the Future Ecological Framework of Belgorod oblast // Arid Ecosystems. – 2020. – No. 10. – Pp. 36-43.

УДК 581.5

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФИТОБИОТЕХНОЛОГИЙ
В ОПТИМИЗАЦИИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ:
ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Тохтарь В.К.

*ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет», Белгород, Россия
E-mail: tokhtar@bsu.edu.ru*

Продолжающееся ухудшение экологического состояния природной среды вызывает необходимость поиска путей и методов преодоления отрицательных последствий вмешательства человека в функционирование природных систем [Тохтарь, Петин, 2012], включая эколого-геологические системы [Тохтарь, 2005; Тохтарь и др., 2011; Lisetskii et al., 2016]. Рекультивация нарушенных земель является реальным способом восстановления нарушенных экосистем, сохранения биологического разнообразия и увеличения экологической емкости территорий [Геоэкологические проблемы оптимизации..., 2013]. В связи с этим весьма важной представляется разработка и реализация новых подходов и методов биологической рекультивации антропогенно трансформированных ландшафтов [Тохтарь и др., 2012].

Развитие современных представлений о роли растений в улучшении окружающей среды привели к замене термина «фиторемедиация» на термин «фитотехнологии». Фитотехнологии определяются как: «Использование растительности для сдерживания, изолирования, удаления или разложения неорганических и органических загрязнителей в почвах, отложениях, поверхностных и грунтовых водах». Термин «фитотехнологии», используется для обозначения всех областей применения, в которых растения используются для регулирования загрязняющих веществ, даже без их удаления или уничтожения. Фитотехнологии основаны на основных физиологических механизмах, происходящих в высших растениях и связанных с ними микроорганизмах, таких как транспирация, фотосинтез, метаболизм и минеральное питание.

Ниже приведены примеры разрабатываемых фитотехнологий, которые успешно реализуются и/или могут быть реализованы коллективом НОЦ «Ботанический сад НИУ «БелГУ» в интересах горно-обогачительных комбинатов и предприятий, оценивающих экологическое состояние среды на подконтрольных им территориях.

Фитотехнологии создания очистных систем (ФОС). Для наполнения создаваемого ООО «Яковлевский ГОК» комплекса ФОС в лабораториях НОЦ «Ботанический сад» были разработаны способы массового выращивания и размножения перспективных для очистки сточных вод прибрежно-водных растений. Часть растений были получены из семян, другие, которые не размножались или плохо размножались семенами, были клонированы биотехнологическими методами. Для реализации этих

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

подходов был выполнен комплекс научных исследований, которые позволили разработать алгоритм действий и технологические подходы для решения этих задач.

Разработанные подходы массового размножения растений, которые избирательно поглощают конкретные группы токсикантов, могут успешно использоваться целевым образом для решения задач по очистке воды, почв и различных субстратов от химических веществ и элементов.

Фитоэкстракция – технология близкая к предыдущей по способу применения. Она основана на избирательном поглощении необходимых для извлечения из субстрата компонентов. Активно развивающееся в последнее время направление, которое использует достижения различных наук. Для успешной разработки этой фитотехнологии необходим подбор гипер- или гипоаккумулирующих растений по отношению к поглощаемым веществам, а также использование физико-химических методов извлечения экстрагированных веществ из растений.

На базе НОЦ «Ботанический сад» предварительно изучена поглощающая способность ряда видов растений в отношении тяжелых металлов и редкоземельных элементов из отходов химической промышленности. Выявлены перспективные гипераккумуляторные растения, которые можно использовать для решения этих задач.

Маркерная селекция устойчивых к действию различных факторов растений – технология, позволяющая проводить экспресс-анализ растений на устойчивость к произрастанию в токсичных условиях среды. Выявление генов устойчивости растений к тяжелым металлам, засолению, кислотности, отсутствию влаги и др. позволяет значительно ускорить и удешевить процесс подбора растений к конкретным условиям среды, а также увеличить степень приживаемости растений в условиях токсичного загрязнения.

Технология клонального микроразмножения растений. Позволяет за короткий период времени размножить ценный посадочный материал, который обладает конкретными уникальными качествами (например, «плюсовые деревья») для решения обозначенных выше задач. Из одного растения может быть получено до 10 000 и более генетически идентичных клонов.

Направления использования технологии могут быть разными:

1. Подготовка массового однородного посадочного материала для фиторекультивации;
2. Решение вопросов, связанных с фитоэкстракцией различных веществ, очисткой почв или сточных вод, а также для получения ценных, попутно извлекаемых из субстратов (отходов производства) веществ;
3. Размножение редких и исчезающих видов растений из перечней Красной книги в случае необходимости проведения компенсаторных мероприятий по реинтродукции раритетных видов и их транслокации в новые местообитания при расширении промышленных площадей, откуда они должны быть перенесены для сохранения.

Фитотехнология создания карбоновых полигонов. Помимо важности использования специального сертифицированного оборудования для мониторинга поглощения углекислого газа, не менее важной является задача подбора комплексов растений, обладающих высокой способностью его усваивания.

В коллекции НОЦ «Ботанический сад» в настоящее время проходят интродукционное испытание более 4000 видов и сортов растений, которые могут быть использованы в качестве перспективных для создания «биоматов» или комбинаций растений, способных активно усваивать углекислый газ благодаря наличию у них разных типов фотосинтеза (C3, C4). Учитывая тот факт, что в озеленении городов обычно используется не более 70-90 видов растений, а в мире только сосудистых растений по разным оценкам произрастает от 300 до 500 тыс. видов – понятно какие возможности существуют в решении задач по созданию карбоновых полигонов.

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

В настоящее время в НОЦ «Ботанический сад» создана крупнейшая коллекция лекарственных и эфиромасличных растений в России, которые обладают фитонцидными, обеззараживающими, антибактериальными, инсектицидными свойствами. Создание на территориях горно-обогатительных комбинатов, участков, на которых произрастают такие группы растений, способно серьезно улучшить экологическую ситуацию.

Биофумигация – это новое направление, исследующее применение свойств химических соединений в растениях. Известно, что несколько видов Brassicaceae используются в борьбе с вредителями и патогенами в сельском хозяйстве благодаря производству специфических вторичных метаболитов, называемых глюкозинолатами. Эти серосодержащие соединения обладают антиканцерогенной активностью у человека. Они придают характерный аромат крестоцветным растениям, а продукты их распада могут отпугивать травоядных и подавлять микроорганизмы. Поэтому в рамках развития этой фитотехнологии растения семейства Brassicaceae используют в качестве “сидерата”, который добавляется в почву во время подготовки, чтобы уменьшить нагрузку, вызванную патогенами и вредителями. Такой подход рассматривается как хорошая замена использованию вредных химических фумигантов.

Фитотехнология направленного подбора растений для рекультивации. Известно, что в зависимости от технологических цепочек производства, типа добываемого сырья или антропогенного воздействия на среду, а также различиях качественного и количественного состава токсикантов в отходах производства – способы восстановления растительного покрова и, в целом, экосистем, требуют разработки и применения различных подходов [Polukhin et al., 2015].

Нами, для решения подобных задач, развиваются подходы по направленному подбору видов при создании устойчивых культурфитоценозов в конкретных условиях среды [Мартынова, Тохтарь, 2011]. Они предполагают детальное изучение свойств видов, степень их толерантности к действию различных факторов среды и возможности произрастания в тех или иных условиях, а также оценку соответствия их условиям территорий, предназначенных для фиторекультивации.

Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных промышленностью земель – проблема комплексная. При ее проведении осуществляется моделирование культурфитоценозов разного направления использования, создание устойчивых, продуктивных и хозяйственно ценных защитных насаждений. Такие меры являются эффективным способом борьбы с эрозией для предотвращения ее негативного влияния. При этом чрезвычайно актуальным становятся вопросы фитомелиоративной значимости древесных пород, используемых при лесном направлении биологической рекультивации, выявление состава и особенностей их роста и развития. Не менее важным является разработка подходов к направленному подбору ассортимента перспективных для фиторекультивации растений в зависимости от ранее установленных свойств субстрата отвалов и известных эколого-биологических характеристик видов.

Объектами наших исследований были деревья и кустарники, различного географического происхождения, прошедшие интродукционные испытания на территории Ботанического сада Белгородского государственного национального исследовательского университета. В качестве эдафотопы выступали вскрышные породные отвалы ГОКа разного гранулометрического состава и происхождения.

В зависимости от состава почвенного грунта на территории КМА Белгородской области были выделены следующие типы отвалов, с различными эрозионными процессами на них: мелко-мергельные, отвалы на песчаных и песчано-меловых смесях, на черноземных и суглинистых почвогрунтах.

Ассортимент видов подбирался в зависимости от эколого-биологических свойств высаживаемых пород, лесопригодности грунта и особенностей рельефа участка. За основу оценки экологических свойств видов были приняты индикационные экологические шкалы

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

Г. Элленберга (Ellenberg, 1974; 1996) и Э. Ландольта (Landolt, 1977). При этом оценивались следующие характеристики: отношение растений к влажности и кислотности почвы, освещенности-затенения, к богатству почвы элементами минерального питания, к содержанию гумуса и различному механическому составу почвы и др.

К деревьям и кустарникам, выращиваемым на отвалах, предъявляются более высокие требования, чем к растениям, используемым в зеленом строительстве. Растения должны быть не только устойчивыми к погодным условиям, но и к специфичным условиям отвалов, чтобы успешно противостоять неблагоприятным свойствам горных пород, которые формируют техногенный элювий. Они должны обладать способностью к симбиозу с микроорганизмами, развивать широкозахватную корневую систему, предотвращающую дефляцию грунтов и при этом быть высокодекоративными растениями с широким комплексом хозяйственно-ценных признаков.

Фитомелиоративным эффектом на породных отвалах обладают растения с различным ареалом и экологией. Непременным условием успешности выращивания видов являются мощное развитие их поверхностной корневой системы (физический эффект закрепления подвижных масс) и способность к азотфиксации (агрохимический эффект).

Основу растительного покрова должны создавать растения с эдификаторными свойствами, способные изменять среду обитания в лучшую сторону. Исходя из экологических условий отвалов, это должны быть засухоустойчивые, олиготрофные, то есть виды малотребовательные к плодородию почвы, способные расти на почвах с небольшим гумусовым горизонтом и с высоким содержанием кислотности (рН 6.3 - 4.3), например, бузина черная, бересклет бородавчатый, барбарис обыкновенный и др.

В естественных условиях отвалы и карьеры способны к естественному зарастанию травянистой растительностью. При разработке минерального сырья открытым способом лучше других зарастают лессовидные суглинки, пески и глины. Плохо зарастают меловые и известняковые отвалы. Поэтому, одновременно с посадкой древесных растений следует проводить посев многолетних трав, которые способны в короткий срок сформировать высокопродуктивное растительное сообщество и предотвратить пыление отвалов и карьеров.

Чтобы получить на отвалах травяной покров санитарногигиенического назначения, следует использовать виды многолетних растений, способные быстро формировать дернину и прекращать дефляцию субстратов. К таким видам, по нашим данным, из злаков относятся: овсяница красная, мятлик луговой, кострец безостый, полевица белая. Из бобовых целесообразно вводить в создаваемые растительные группировки донники белый и желтый - двулетние растения, обладающие хорошим семенным возобновлением.

Новой тенденцией в использовании фитотехнологий является так называемая **“вспомогательная естественная рекультивация”**. При содействии естественному восстановлению поправки в состояние почвы вносятся для того, чтобы ускорить естественные процессы рекультивации. В случае загрязнения субстратов металлами добавки способствуют иммобилизации с образованием комплексов, адсорбцией, осаждением и химическими реакциями: основной целью является снижение биодоступности металла, а не его общей концентрации. Одним из возможных перспективных направлений исследования является также обработка растений (семян, корней и др.) и/или субстратов в местах посева или посадки растений комплексом микробиологических препаратов, который способствует лучшему укоренению растений в неблагоприятных условиях среды.

Фитотехнология создания системы мониторинга с использованием растений в качестве тест-объектов. Экологическая модернизация представляет собой широкий спектр подходов к социальному устройству природы, которые достаточно оптимистичны относительно потенциала сосуществования природы и общества. В частности, утверждается, что экологическая модернизация обеспечивает потенциальную основу для

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

примирения экономического развития с экологией и обеспечения бесприоритетных для природы и экономики.

Такие ресурсы, как сельская местность, побережье, водно-болотные угодья, городские парки, уличные деревья и их экосистемы рассматриваются как критически важные для устойчивого экономического роста и социальных целей, а не просто способ поддержания дикой природы и «окружающей среды». В связи с этим одним из актуальных вопросов изучения зеленой инфраструктуры города становится разработка концепций и методологии определения и измерения экологических активов с целью аргументации в пользу природы и окружающей среды в институциональных условиях в которых доминируют два ключевых фактора: конкурентоспособность городских территорий и достижение целевых показателей государственных услуг.

Рядом исследователей описываются различные способы, с помощью которых окружающая среда поддерживает экономический рост и инвестиции, рост стоимости земли и имущества, производительности труда, туризма и сельского хозяйства. В настоящее время приходит понимание того, что совершенствование состояния биоразнообразия и городских насаждений способствует качеству жизни, благосостоянию населения, развитию туризма, а также «экосистемных услуг», оказываемые городской инфраструктурой, в частности, смягчение последствий наводнений и смягчение последствий изменения климата.

По мере роста населения возникают различные экологические проблемы: от ухудшения здоровья людей до экономического ущерба городской экосистеме. Городская зеленая инфраструктура становится ценным ресурсом для противодействия ухудшающимся экологическим условиям городской экосистемы. Считается, что в городах, характеризующихся комфортными условиями проживания, должны присутствовать не менее 20-30% озелененных территорий или на одного жителя должно приходиться не менее 9м² озелененной территории.

В связи со всем вышесказанным важной задачей развития фитобиотехнологий является разработка научно-обоснованной системы мониторинга зеленой инфраструктуры городов и предприятий на основе использования индикаторных свойств растений и растительных группировок и, в частности, изучения пространственной дифференциации урбанофлор [Тохтарь и др., 2009; Тохтарь, Фомина, 2011].

Сотрудниками НОЦ «Ботанический сад» на примере города Белгорода разработана методология проведения мониторинга зеленых насаждений на модельных площадках. Осуществлена полномасштабная оценка зеленых насаждений в модельных типах экотопов по многочисленным морфологическим, фенологическим параметрам, уровням заболеваемости и поврежденности вредителями. Для этого использовались авторские методики мониторинговой оценки, включая оценку деревьев, кустарников и участков газонов с помощью методов ИК-спектроскопии.

Исследование выполнено при поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № № FZWG-2020-0021.

Список литературы

1. Тохтарь В.К. Флоры техногенных экотопов и их развитие (на примере юго-востока Украины). Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук - Киев, 2005. – 36 с.
2. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. Gottingen: Goltze. 1974. – 97 s.
3. Ellenberg H. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht. 5. Aufl. Ulmer, Stuttgart. – 1996. – 1096 s.
4. Landolt E. Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora. Veröff. Geobot. Inst. ETH. Zurich. – 1977. – H.64. – S. 1-208.

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

5. Геоэкологические проблемы оптимизации и биорекультивации отвалов вскрышных пород железорудных месторождений КМА / Корнилов А.Г., Петин А.Н., Сергеев С.В., Погорелов Ю.С., Тохтарь В.К., Присный А.В., Мартынова Н.А., Дроздова Е.А.; под общ. ред. А.Г. Корнилова - Белгород, ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2013. – 124 с.

6. Lisetskii F.N., Tokhtar V.K., Ostapko V.M., Prykhodko S.A., Petrunova T.V. Regularities and features of differentiation and anthropogenic transformation of steppe vegetation / Terrestrial Biomes: Geographic Distribution, Biodiversity and Environmental Threats. Eds.: Marlon Nguyen. NY, 2016. – С. 103-126.

7. Тохтарь В.К., Фомина О.В. Особенности формирования урбанофлор в различных природно-климатических и антропогенных условиях: факторный анализ и визуализация данных // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 9 (104). – С. 23-29.

8. Тохтарь В.К., Фомина О.В., Петин А.Н., Шевера М.В., Губарь Л.М. Сравнение урбанофлор различных природно-климатических зон методом факторного анализа // Проблемы региональной экологии. – 2009. – № 1. – С. 27-30.

9. Тохтарь В.К., Третьяков М.Ю., Чернявских В.И., Фомина О.В., Мазур Н.В., Грошенко С.А., Волобуева Ю.Е., Петина В.И. Некоторые подходы к оценке антропогенного влияния на фитобиоту // Проблемы региональной экологии. – 2011. – № 2. – С. 92-95.

10. Polukhin, O.N., Tokhtar, V.K., Petin, A.N., Martynova, N.A., & Petina, M.A. (2015). Perspective approaches to the directional selection of plant species for revegetation of ore mining dumps of Kursk Magnetic Anomaly // International Business Management 9 (6). 1056-1058. http://dspace.bsu.edu.ru/bitstream/123456789/17254/1/Tokhtar_Perspective.pdf

11. Мартынова Н.А., Тохтарь В.К. Некоторые подходы к направленному подбору видов при создании устойчивых культур фитоценозов в антропогенно нарушенных экотопах // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 15-1 (104). – С. 311-315.

12. Тохтарь В.К., Петин А.Н. Эволюция и дифференциация фитобиоты при антропогенном воздействии в степной и лесостепной зонах // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2012. – № 6. – С. 71-79.

13. Тохтарь В.К., Мартынова Н.А., Корнилов А.Г., Петин А.Н. Опыт разработки эффективных способов биологической рекультивации отвалов ГОКов на юге Среднерусской возвышенности // Проблемы региональной экологии. – 2012. – № 2. – С. 83-86.

УДК 911.8

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ КАРКАС БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ: ВОЗМОЖНАЯ СТРУКТУРА И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ

**Белоновская К.А.^{*1}, Соболев Н.А.¹, Титова С.В.¹,
Тишков А.А.^{1,2}, Царевская Н.Г.¹, Кренке А.Н.¹, Чвырев А.А.¹**

¹ФБГУ Институт географии РАН, Москва, Россия

²ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет», Белгород, Россия

*E-mail: belena@igras.ru

Аннотация. В статье обсуждаются перспективы формирования экологического каркаса территории Белгородской области как староосвоенного аграрного и урбанизированного степного региона. Предпринимаемые ранее попытки его создания фактически ориентировались на природно-антропогенные элементы интразональных и азональных ландшафтов, в т.ч. сохранившиеся участки пойм и водоохранные зоны,