

УДК 001.892:631.619:58.006(477.62)

Д.В. Сыщиков, И.В. Агурова, С.П. Жуков, Ю.А. Штирц

КРАТКИЙ ОЧЕРК ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ФИТОРЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОТОПОВ ДОНБАССА УЧЕНЫМИ ДОНЕЦКОГО БОТАНИЧЕСКОГО САДА

Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад»

В статье приведен очерк истории развития научных исследований по фиторекультивации техногенных экотопов Донбасса учеными Донецкого ботанического сада с 60-х годов XX века по настоящее время. Проанализированы основные научные результаты и итоги каждого этапа исследования. Изучение антропогенно трансформированных экосистем отличалось подходами на каждом из этапов рассматриваемого временного промежутка, что обусловило различную результативность использованных методик. Расширение спектра проводимых исследований и накопленный практический опыт позволили существенно повысить эффективность предлагаемых разработок.

Ключевые слова: промышленная ботаника, породный отвал, фиторекультивация, засоление, эдафотоп, растительный покров

Ускорение темпов техногенеза и увеличение количества антропогенных объектов оказывает негативное влияние на природные ландшафты. Извлечение и переработка горной массы и пород путем проведения горных разработок приводит к отчуждению значительных площадей под породные отвалы, которые, в свою очередь, нуждаются в биологической рекультивации. Рекультивация земель, нарушенных промышленной деятельностью, как в практическом, так и в теоретическом отношении – относительно новое направление, и в настоящее время идет процесс интенсивного усовершенствования методов рекультивации не только с точки зрения охраны окружающей среды, но и экономической эффективности.

К одному из неотъемлемых элементов ландшафта Донбасса относят высокие пирамиды терриконов. Так, на территории Донецкой области находятся тысячи отвалов (отвалы пустой породы угольных шахт, так называемые терриконники или терриконы) [27]. Согласно данным Госкомэкополитики ДНР, на территории Республики насчитывается 586 отвалов, 144 из которых находятся на территории Донецка.

Проблема фиторекультивации чрезвычайно актуальна для Донбасса, так, в одном г. Донецке более 1 тыс. га городских земель заняты шлаковыми отвалами, отвалами угольных шахт, которые постоянно оказывают негативное влияние на окружающую среду [7]. В большинстве случаев терриконы располагаются в пределах населенных пунктов, занимая огромные площади, с которых происходит постоянное загрязнение атмосферы, подземных и поверхностных вод и почв. На площади большинства терриконов еще не прекратились процессы горения с выделением в атмосферу различных поллютантов, в числе которых различные оксиды азота, диоксид серы, монооксид углерода, аммиак, сероводород. Наряду с этим, терриконы и хвостохранилища являются источником пыли, а сложный рельеф поверхности отвалов и крутые склоны создают условия, малоприспособленные для естественного поселения и роста растений. Единственно возможным способом восстановления растительного и почвенного покровов на нарушенных промышленностью землях является проведение комплекса работ по биологической рекультивации [30].

Работы по озеленению территорий, нарушенных угольной промышленностью в 50-х годах XX века

Долгое время пыльные бури от терриконов были настоящим бедствием для Донбасса. Вопрос об озеленении породных отвалов был вынесен на рассмотрение исполкома г. Сталино в 1948 г. Первые работы по их озеленению были предприняты сотрудниками Института лесоводства АН УССР М.С. Шалытом, А.И. Зражевским, В.М. Костомаровым. Опытные работы проводились на отвале шахты «Ливенка». Весной 1950 г. группой ученых во главе с М.С. Шалытом были перенесены мешки с саженцами *Robinia pseudoacacia* L., *Elaeagnus angustifolia* L., *Ligustrum vulgare* L. на северный склон отвала. Во избежание повреждения корневой системы посадочные лунки промывали известью. Однако эти опытные посадки к августу погибли. Новая попытка высадки деревьев на следующий год также не увенчалась успехом. В дальнейшем испытания расширили, используя как объекты для фиторекультивации терриконы шахт «Наклонная-7», «Цент-ральная-Заводская», «Юза». Озеленение породных отвалов стало возможным только после того, как исследователи организовали искусственный полив. На основании трехлетних опытов А.И. Зражевским, В.М. Костомаровым и М.С. Шалытом был опубликован ряд статей [42, 43]. В 1954 г. аналогичные эксперименты проводились сотрудниками Московского лесотехнического института под руководством проф. К.А. Виноградова, однако в 1955 г. исследования были остановлены.

В изданной в 1953 г. сотрудниками Института лесоводства АН УССР «Инструкции по озеленению терриконов» [26] предлагался видовой состав рекомендуемых для озеленения древесных и кустарниковых пород на основе их биоэкологической характеристики без учета данных экспериментальных испытаний. К моменту составления инструкции у авторов были данные о приживаемости посадок лишь первого года. До нашего времени результаты их испытаний сохранились лишь на одном из самых старых отвалов – шахты № 1 «Юза». К сожалению, из-за ограниченности данных по исследованию экологических условий причины неудачных посадок на остальных отвалах угольных шахт, вовлеченных в эксперимент,

не были проанализированы. К недостаткам инструкции 1953 г. можно отнести следующие.

1. Инструкция была составлена на основании удачного опыта озеленения лишь одного отвала, на остальных четырех объектах посадки погибли. При этом авторы инструкции предлагали распространить опыт на весь Донбасс, что является неконструктивным подходом к решению проблемы озеленения терриконов в целом.

2. Большая часть видов древесно-кустарниковых растений, рекомендованных для озеленения терриконов, не использовалась в опытных посадках, а была включена в инструкцию только на основании их биоэкологических особенностей.

3. Рекомендованный ассортимент травянистых растений не был испытан в условиях терриконов.

4. Террасирование склонов не было проверено опытным путем.

5. Экспериментально не обоснованы рекомендации по замене породы в лунках черноземом при посадке деревьев.

Начальный этап реализации эксперимента по озеленению угольных шахт сотрудниками Донецкого ботанического сада в период 60-70-х гг. XX века

Сотрудниками Донецкого ботанического сада работы по исследованию проблем рекультивации были начаты с его основания в 1965 г. В первую очередь исследования касались изучения экологических условий на терриконах, в особенности эдафических, динамики выветривания породы терриконов и инициальных процессов почвообразования.

Вклад каждого из сотрудников в исследования по рекультивации детально описан в монографии «Донецкий ботанический сад: история и современность» [13].

С 1965 по 1968 гг. сотрудниками Донецкого ботанического сада в рамках выполнения научно-исследовательской темы «Научные основы озеленения терриконов Донецкого бассейна» было изучено около 20 терриконов, на которых проводились работы по высадке древесно-кустарниковых растений. В результате опытных посадок и наблюдений установлено, что к наиболее устойчивым видам растений относятся *R. pseudoacacia*, *Fraxinus excelsior* L., *E. angustifolia*, *Amorpha fruticosa* L.

При осуществлении постоянного мониторинга произрастания растений на территории отвалов угольных шахт в течение 1965 – 70-х гг. был установлен ряд закономерностей, которые впоследствии позволили проводить более успешный подбор видов растений для биологической рекультивации терриконов с различной степенью фитотоксичности породы.

1. При значениях pH 3,0 и выше может произрастать *R. pseudoacacia*.

2. При значениях pH 4,0 и выше приживаются *Sorbus aucuparia* L., *F. excelsior*, *F. lanceolata* Borkh., *Partenocissus quinquefolia* (L.).

3. При значениях pH 4,5–5,0 приживаются такие виды растений как *Amorpha fruticosa*, *Ligustrum vulgare* L., *Cerasus mahaleb* (L.) Mill., *Acer negundo* L., *Acer tataricum* L., *Acer platanoides* L., *Lonicera tatarica* L., *Ulmus laevis* L., *Corylus avellana* L., *Populus deltoides* Marsh., *Padus serotina* (Ehrh.) Ag.

Установлено, что приживаемость, рост и развитие древесных и кустарниковых растений зависит от экспозиции склона. Так, наиболее благоприятные условия складываются на северном склоне, наименее благоприятные – на южном.

Несмотря на внешнее сходство, терриконы отличаются друг от друга по таким параметрам как физические свойства слагающих пород, кислотность поверхностного слоя, скорость перегорания, степень метаморфизма. По этим признакам В.И. Баклановым и другими учеными Донецкого ботанического сада терриконы были подразделены на 4 основные группы [2].

1. Терриконы, образованные при строительстве шахт из неметаморфизированных или слабо метаморфизированных осадочных пород без примеси горючих включений. Высота данной группы отвалов составляет от 10 до 25 м. Встречаются крайне редко: 2 % от общего числа терриконов. Возникающие очаги горения незначительны и непродолжительны во времени, в целом процессы горения не характерны.

2. Терриконы, образованные из отвальной породы шахт неантрацитовых углей (около 73 % от общего числа терриконов). Состоят из глинистого сланца небольшой мощности, отличающегося низкой морозоустойчивостью, высокой пористостью и быстрым выветриванием. Горение на вершине террикона медленное и затягивается на

долгое время (15–35 лет). Угля в породе немного, pH породы в очагах горения достигает значений 2,5–3,5, при затухании очагов горения вымывание солей происходит за 3–5 лет, после чего pH среды повышается, приближаясь к слабокислой или даже нейтральной.

3. Терриконы, образованные из отвальной породы шахт антрацитовых углей (в состав входят метаморфизированный сланец и роговина). Большое содержание угля. Горение интенсивное и заканчивается быстрее (10–25 лет). Выветривание породы происходит медленно. В очагах горения pH 1,5–2,5, около очагов – 4–6,5. Кислая порода распространяется путем осыпания, подкисляя близлежащие территории. Лимитирующие факторы для распространения растительности – низкое содержание мелкозема и малая влагоемкость породы. Терриконы этой группы составляют 20 % от общего количества.

4. Терриконы обогатительных фабрик. В процессе обогащения угля порода дробится, что обуславливает большое количество мелкозема. Горение – по всей поверхности террикона, с малой интенсивностью и продолжается длительное время (38–50 лет). Реакция породы сильнокислая, со значениями 2,3–3,0.

Одним из важных свойств эдафотопы, которое может препятствовать поселению и росту растений, является фитотоксичность слагающих его пород, которая характеризуется прежде всего неблагоприятной для растений реакцией среды (pH), высокой концентрацией водорастворимых веществ и неблагоприятным соотношением ионов в водной вытяжке.

Процесс формирования фитотоксичности был достаточно полно описан и доказан рядом авторов (Е.Н. Кондратюк, М.Л. Рева, В.И. Бакланов) [30, 33]. Ими показано, что поступающая из шахты порода имеет нейтральную реакцию и незасолена, а в результате деятельности тионовых бактерий повышается ее кислотность и степень засоления (в составе водной вытяжки преобладают анионы SO_4^{2-}). В большинстве случаев подкисление и засоление породы превышает граничные значения фитотоксичности, а в таких условиях ни один вид растений практически не может существовать. Однако по мере снижения скорости окисления породы улучшается баланс образования и вымывания солей, постепенно снижается

засоленность породы и при достижении нижней границы фитотоксичности начинается заселение растениями.

Исследованиями 1965–1967 гг. показано, что очаги горения наибольшее время сохраняются на терриконах обогатительных фабрик – 30–50 лет, тогда как перегорание породы на терриконах шахт происходит за более короткий срок. Длительность ее горения на терриконах зависит от количества горючих соединений (уголь, сланцы и пр.), размеров террикона и технологии его складирования. После окончания процесса горения на терриконах начинается первичный почвообразовательный процесс: продукты горения быстро вымываются, реакция породы снижается до слабодислой или нейтральной, подвижные формы алюминия переходят в нерастворимые, накапливается значительное количество мелкозема, повышается водоудерживающая способность и увеличивается влагоемкость, что обеспечивает возможность поселения травянистой растительности, а при наличии семян – и древесно-кустарниковых растений.

Почвообразовательный процесс зависит от степени выветренности породы и жизнедеятельности пионерных растений, приспособленных к произрастанию в условиях недостаточной влажности и кислой реакции среды.

Экспериментально доказано, что терриконы первой группы заселяются травянистой растительностью через 10–12 лет, второй группы – через 15–35 лет. Заселение начинается с хвостовой части (в первую очередь – по микропонижениям) там, где происходит накопление мелкозема и улучшение условий увлажнения. Часто и при слабодислой реакции склоны террикона совершенно лишены растительности. Быстрее заселяются пологие участки, в последнюю очередь – гребень хвостовой части и вершина террикона. Терриконы третьей группы заселяются растениями через 10–25 лет. Лимитирующие факторы для произрастания растений на терриконах четвертой группы – сильнокислая реакция среды, горение по всей поверхности, большое количество подвижных форм алюминия.

В 1978 г. были выпущены «Методические рекомендации по защитно-декоративному облесению терриконов угольных шахт Донбасса» [28], созданные на основе опытных работ по посадке

растений на терриконах, проводимых с 1970 г. сотрудниками кафедры лесных культур Украинской сельскохозяйственной академии. Достоверными результаты данных исследований назвать трудно, поскольку они проводились только на двух объектах и без необходимого изучения экологических условий. В основу при подборе видового состава растений для озеленения отвалов угольных шахт были положены лабораторные опыты по выращиванию растений на породе с одного террикона в вегетационных сосудах. Кроме того, учитывались результаты полевых опытов только по двум отвалам с наиболее благоприятными экологическими условиями, которые были экстраполированы на все отвалы Донбасса.

В то же время сотрудниками сада, в числе которых были М.Л. Рева и В.И. Бакланов, на основе 8-летних исследований и опытных посадок растений были составлены, а в 1973 г. утверждены Минуглепромом УССР и в 1974 г. изданы «Временные рекомендации по озеленению угольных шахт и обогатительных фабрик» [34]. Принимая во внимание, что при составлении рекомендаций проводились наблюдения и за более ранними посадками, можно сказать, что они разработаны по материалам 20–24-летних опытов. В рекомендациях представлено четкое разделение терриконов по стадиям выветривания породы (окисления, вымывания и массового поселения растений), проведена привязка видового состава растительного покрова к конкретным экологическим условиям, а также подробно излагаются методы проектирования и проведения работ по подготовке породных отвалов к фиторекультивации.

Многолетними исследованиями сотрудников отдела промышленной ботаники Донецкого ботанического сада было показано, что в условиях отвалов угольных шахт свою экологическую нишу находят ксерофиты и ксеромезофиты, олиготрофные и мезотрофные растения, способные фиксировать атмосферный азот, а также растения с мощной корневой системой – эдификаторы и мелиоранты. В результате проведенных экспериментов была разработана шкала оценки испытания растений, учитывающая различные параметры в их формировании и развитии [30].

При испытании растений на отвалах угольных шахт, проводившихся в течение 1966–1975 гг., выделены 32 вида древесно-кустарнико-

вых, 1 вид лиан, 11 – травянистых, 2 вида цветочно-декоративных растений, перспективных для озеленения отвалов угольных шахт Донбасса.

В 1975 г. М.Л. Ревой была разработана классификация техногенных ландшафтов Донбасса, в основу которой была положена степень преобразования и изменения экологических факторов, продуктивности биогеоценозов и ландшафтов как следствие хозяйственной деятельности человека [31, 32].

В течение 1978–1979 гг. в рамках госбюджетной темы «Оказание научно-технической помощи при внедрении методов озеленения породных отвалов шахт и обогатительных фабрик Минуглепрома УССР» составлялись проекты озеленения шахт «Пролетар»; отвалов № 1, № 9, № 10 шахты «Перевальская»; отвалов № 1, № 2 шахты им. Ленина; отвалов № 1, № 2 шахты Славяно-сербская; отвалов № 1, № 2, № 3, № 4 шахты «Белореченская», также под руководством сотрудников Донецкого ботанического сада производилось их озеленение. В тот же период в рамках хозяйственных тем производились посадки растений на отвалах шахт «Кировская», «Лидиевка», им. Газеты Правды, им. Засядько, им. Горького, «Кочегарка».

Продолжение исследований по испытанию растений на терриконах угольных шахт Донбасса в 80–90-е гг. XX века

В 1980 г. вышли «Методические рекомендации по защитно-мелиоративному озеленению породных отвалов» [3]. Для составления данных рекомендаций было испытано уже более 80 видов растений на различных отвалах угольных шахт Донбасса, в том числе в Ворошиловградской области (с 1991 г. – Луганской). В видовом отношении предложен ассортимент растений, испытанных в течение 1966–1979 гг. Состояние растений в процессе изучения оценивалось по разработанной шкале, учитывающей в баллах успешность создания растительного покрова для разных условий. Для формирования устойчивых травянистых фитоценозов предпочтение отдавалось многолетним растениям. Учеными Донецкого ботанического сада был предложен способ посадки злаков дернинами как перспективный с точки зрения закрепления откосов отвалов угольных шахт. В результате изучения особенностей роста и развития 60 видов травянистых растений

на отвалах (прохождение фенологических фаз, динамика линейного роста, побегообразования и семенной продуктивности) было отобрано 19 видов травянистых растений, наиболее перспективных для формирования устойчивых фитоценозов при биологической рекультивации, и разработаны наиболее эффективные способы их выращивания. Такой метод подбора растений был более гибким и расширил возможности биологического этапа рекультивации для разнообразных биоэкологических условий отвалов.

В результате множества опытных посадок сотрудниками Донецкого ботанического сада и в рамках выполнения НИР «Провести исследования и разработать методы биологической рекультивации нарушенных земель отвалами угольных шахт и повысить эффективность использования в народном хозяйстве рекультивированных площадей» установлено, что для создания растительного покрова на отвалах наиболее перспективными являются сильные эдификаторы и мелиоранты, способные изменять среду обитания в лучшую сторону. Вследствие того, что существующий к тому времени метод оценки рекомендуемых для рекультивации нарушенных площадей растений как «пригодные» и «непригодные» был очень относительным и часто носил субъективный характер, что недопустимо для практических рекомендаций, была разработана новая шкала оценки испытания растений, включающая следующие категории.

1. Достигающие семенного размножения и самостоятельно распространяющиеся за пределы первоначального поселения.
2. Дающие жизнеспособные семена, но не распространяющиеся за пределы первоначального поселения семенным путем.
3. Дающие жизнеспособные семена, но значительно отстающие в росте всех частей по сравнению с растениями, произрастающими в природных условиях, плодоносящие слабо, не возобновляющиеся семенным путем.
4. Развивающие вегетативные органы, но не цветущие и не образующие плодов, при наличии цветения и плодоношения производящие только нежизнеспособные семена.
5. Слаборастущие, угнетенные и легко повреждаемые различными неблагоприятными факторами, вредителями и болезнями, недолговечны, имеют неприглядный внешний вид.

6. Совершенно непригодные для культуры, крайне недолговечные или погибающие в первую зиму.

Кроме того, ко всем категориям дополнительно давались и буквенные обозначения:

а) поселяемые на отвалы без сложных мелиоративных мероприятий, существенно изменяющих их эдафическую характеристику;

б) поселяемые на отвалы после сложных мелиоративных мероприятий (внесение грунта в лунки, промывки породы водой и пр.);

в) поселяемые под защитой более устойчивых видов.

В связи с переходом на более прогрессивную технологию складирования в виде плоских отвалов, позволяющую проводить рекультивацию в процессе отсыпки отвала и расширяющую возможности хозяйственного использования земель, ученые ботанического сада уделяли внимание испытаниям растений на территории отвалов угольных шахт, проведению фиторекультивационных работ в рамках выполнения НИР «Изучить экологические условия плоских породных отвалов угольных шахт Донбасса и разработать эффективные методы их озеленения».

В 1990 г. были подготовлены «Методические рекомендации по биологической рекультивации площадей плоских породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик Украинской ССР» [4]. Ассортимент растений, предлагаемый для фиторекультивации плоских отвалов, включал 50 видов древесно-кустарниковых и 12 видов травянистых растений. В разработанных рекомендациях пристальное внимание уделялось агротехнике создания растительного покрова, учитывался возраст посадочного материала (однолетние сеянцы лиственных пород имеют преимущества по сравнению с крупномерными саженцами), сроки посадки древесно-кустарниковых растений. Данные методические рекомендации прошли производственную проверку в ПО «Макеевуголь», «Торезантрацит», «Стахановуголь», «Первомайскуголь», «Укрзападуголь».

Одним из итогов постоянных испытаний и изучения растений на плоских отвалах была разработка классификации плоских отвалов, с учетом таких особенностей и факторов как их:

- форма;
- размеры (занимаемая площадь);
- форма основания;

– расположение относительно рельефа;

– расположение относительно хозяйственных объектов.

Так, по размерам терриконы в соответствии с этой классификацией разделяют на очень малые (площадь меньше 5 га), малые (5–10 га), средние (10–20 га), большие (20–30 га), очень большие (более 30 га); по форме основания – на квадратные, прямоугольные, удлиненные и узкие; по расположению относительно рельефа – на водораздельные, приводораздельные, склоновые, приречные, прибрежные, береговые, донные и балочные. Благодаря такой классификации, учитывающей эдафические условия, стала возможной разработка оптимальных решений для рекультивации нарушенных земель.

Еще один важный аспект в изучении терриконов был связан с проведением популяционных исследований. Начаты они были в 1970-х гг. работами А.И. Хархоты. Изучение популяций различных видов растений на отвалах угольных шахт открывает новые возможности для определения более перспективных для озеленения растений на основании детального изучения их популяционной структуры. Количество видов растений, образующих популяции, на отвалах угольных шахт по сравнению с другими техногенными экотопами намного выше, что расширяет возможности для выявления динамики и направления изменения популяционных параметров в условиях терриконов [38–41].

В конце 1990-х была сделана попытка решения проблемы подбора фитомелиорантов с позиций экофизиологии [5]. Апробация этого подхода как в лабораторных условиях, так и на территории отвалов угольных шахт, производилась под руководством В.Г. Башкатова. В основе метода лежит сравнение экологических требований растений и условий экотопа.

При этом также должны были учитываться ценоотические влияния, была построена модель сукцессии растительности отвалов угольных шахт и разработан метод индикации сукцессионного статуса сообществ [14].

Исследования 2000-х гг.: новые подходы

В результате ежегодных и сезонных исследований по изучению эдафических характеристик на более чем 10 отвалах Донецкой области в течение 2000–2010 гг. И.В. Агуровой и О.Н. Тороховой было установлено, что:

1. Для показателей эдафотопы отвалов угольных шахт характерен сульфатный или хлоридно-сульфатный типы засоления по анионам с преобладанием сульфат-ионов, по катионам – в основном кальциевый или натриево-кальциевый тип засоления с преобладанием ионов кальция.

2. Количество токсичных солей преобладает над нетоксичными только в местах либо одиночной встречаемости растений, либо в случае их полного отсутствия.

3. Количество солей в поверхностном слое эдафотопы отвалов угольных шахт является незначительным на заросших отвалах, наименьшее их количество наблюдается в местах распространения популяций растений, в результате чего создаются благоприятные условия для их существования.

4. Количество солей уменьшается от вершины к подножью. В местах произрастания растений наблюдаются значения pH в основном слабокислой и нейтральной реакции, что также является положительным фактором в формировании растительного покрова.

Также было установлено, что по значению pH, содержанию легкорастворимых солей, анионно-катионному составу эдафотопы отвалов угольных шахт, отвалов вскрыши, отходов строительных материалов, золоотвалов по классификации Донецкого ботанического сада находятся на стадии массового поселения растений (где сложились в большинстве случаев сложные растительные группировки на дерновых эмбриоземах) [1, 37].

В 2002 г., суммируя огромный опыт работы в области рекультивации, В.Г. Башкатовым, О.Н. Тороховой, С.П. Жуковым были разработаны рекомендации относительно создания растительного покрова на отвалах угольных шахт [35], а в 2007 г. группой ученых, в число которых вошли А.З. Глухов, В.Г. Башкатов, С.П. Жуков и др., – «Правила проведения биологической рекультивации породных отвалов угольных шахт Украины» [29], утвержденные как госстандарт.

С 2008 по 2012 гг. исследованиями по фиторекультивации техногенных экотопов руководил А.З. Глухов. Этот период характеризуется существенным расширением круга проводимых исследований.

В течение 2000-х гг. А.З. Глуховым, А.И. Хархотой, С.И. Прохоровой, И.В. Агуровой были определены основные концептуальные положения

типызации техногенных экотопов по признаку фитоэкологического соответствия и выделено 4 типа: широкоадаптивные, ограниченноадаптивные, узкоадаптивные и неадаптивные.

Неадаптивные экотопы полностью непригодны для произрастания растений. Характеризуются неблагоприятными физическими свойствами субстрата, повышенной засоленностью, pH меньше 3,5 или больше 10. Высшие растения в таких условиях, как правило, полностью отсутствуют или представлены единичными, часто нежизнеспособными, экземплярами. Неадаптивные экотопы распространены на техногенных новообразованиях (шламовые накопители и отстойники промышленных предприятий).

Узко-адаптивные экотопы характеризуются специфическим субстратом (с преобладанием в составе каменистой фракции, сильно-, слабо- или незасоленным субстратом), pH 5,5–9,0. Для данного типа характерны антропоотолерантные эвритопные пионерные виды, а также растения с узкой экологической амплитудой. Примерами таких экотопов являются отвалы угольных шахт по добыче мергеля, мела, глинистые соленосные отложения, шлаковые отвалы ДМЗ на ранних стадиях зарастания.

Ограниченно-адаптивные экотопы характеризуются неблагоприятными физическими свойствами субстрата: низкое воздухообеспечение; содержание каменистой фракции > 10 %, содержание солей < 1 г/100 г, pH = 4–5. Растительность представлена в основном пионерными адвентивными видами (мало-, одновидовые простые сообщества) с фрагментарным или групповым размещением растений. Это экотопы отвалов угольных шахт или других техногенных новообразований на стадии вымывания; промплощадки заводов, участки после городского строительства (свалки строительного мусора, пустыри).

Широко-адаптивные экотопы характеризуются полным фитоэкологическим соответствием для произрастания растений. Наряду с такими признаками эдафотопы, как нарушения механического состава и эрозии, они характеризуются благоприятными свойствами – содержание каменистой фракции меньше 20 %, отсутствие засоления, значения pH нейтральные или слабощелочные, отсутствие токсичности. В составе этих экотопов преобладают сложные многовидовые сообщества. Это экотопы урбанизированных терри-

торий (свалки, мусорники, пустыри, брошенные земли и газоны), транспортных (железнодорожные насыпи), промышленных предприятий (промышленные пустыри) и техногенно нарушенных территорий на поздних стадиях самозарастания.

Такая фитоадаптивная типизация техногенных экотопов дает возможность систематизировать научные представления о биоэкологических потенциалах и экологических амплитудах сосудистых растений и их связи с экотопами различных типов. В свою очередь, это позволяет составить прогноз о формировании возможных локальных флор местообитаний нарушенных техногенезом и тем самым создает основу для реального целевого конструирования и моделирования в области промышленной ботаники, в том числе в фиторекультивации техногенных земель [12].

Также С.П. Жуковым был рассмотрен вопрос о регулировании развития фитосистем на региональном уровне, изучена региональная сукцессионная система и выявлено ее разделение на природный и достаточно обособленный синантропный блок, ключевую роль в активном развитии которого играют техногенные сообщества [15].

Продолжающиеся в 2000-х гг. популяционные исследования на отвалах угольных шахт позволили И.В. Агуровой выявить ряд закономерностей и сделать определенные выводы. Так, при изучении популяционной структуры видов многолетних травянистых растений *Oxytropis pillosa* (L.) DC., *Achillea pannonica* L., *Silene supina* Bieb., *Festuca valesiaca* Gaud., *Festuca rupicola* Heuff., *Agropyron pectinatum* (Bieb.) Beauv., *Stipa ucrainica* P. Smirn. на отвалах угольных шахт Донбасса установлено, что для возрастной структуры в основном характерна неполноценность с отсутствием проростков. Это объясняется специфическими условиями существования, в которых приживание подроста практически невозможно, а также отсутствием постгенеративных групп в условиях, несоответствующих для сенильной партикуляции. В большинстве случаев максимум в возрастной структуре регистрировался на средневозрастной генеративной группе, эта стадия несколько растянута в условиях отвалов [36].

Для создания устойчивых рекультивационных фитоценозов С.П. Жуковым разработан метод изучения взаимоотношений растений в техногенных сообществах, позволяющий количественно оценивать как влияние определенного ви-

да, так и его чувствительность к воздействию других видов в существующем сообществе. С учетом уже выявленной сукцессионной динамики и оценки структуры сообществ на основе системных индексов, это позволяет перейти к регулированию развития техногенных фитоценозов, то есть превращает процесс их рекультивации в непрерывное развитие до желаемого состояния, вплоть до полного восстановления растительного покрова [16–18].

Наряду с этим, в результате изучения сотрудниками Донецкого ботанического сада популяционных и морфометрических параметров *Gypsophila scorzonerifolia* Ser. на отвалах угольных шахт была показана перспективность использования данного вида для фиторекультивации, что объясняется такими его особенностями как высокая жизненность и семенная продуктивность, устойчивость к антропогенной нагрузке.

Экспериментальные работы с посевом семян *G. scorzonerifolia* были произведены еще в мае 1978 г. на отвале угольной шахты № 6–14 (г. Макеевка). Спустя 30 лет было установлено, что популяции *G. scorzonerifolia* являются процветающими, отмечается их самовозобновление, массово образуются проростки, которые переходят в следующие возрастные состояния. *Gypsophila scorzonerifolia* имеет высокую способность к размножению (большая семенная продуктивность) и адаптацию, связанную с наличием мощной корневой системы, благодаря чему растение приспосабливается к условиям, занимает доминирующее положение на отвалах угольных шахт.

В результате всестороннего анализа распространения популяций *G. scorzonerifolia* в условиях отвала угольной шахты группой ученых, в число которых вошли А.З. Глухов, А.И. Хархота, И.В. Агурова, О.Н. Торохова, С.П. Жуков, С.И. Прохорова, А.С. Аверчук, была доказана эффективность и необходимость использования данного вида в качестве фитомелиоранта. *Gypsophila scorzonerifolia* имеет значительные ценотические возможности, способен занимать свободную от растений территорию и приспосабливаться к неблагоприятным экологическим факторам; является галофитом и способен расти в условиях даже повышенной концентрации солей в субстрате. Такие особенности и обосновывают выбор этого вида в качестве перспективного фитомелиоранта, что и было отражено в патенте [8].

Предложенный способ не требует существенных технических и материальных затрат. Выявленные признаки могут быть использованы как диагностические при оценке состояния популяций *G. scorzonrifolia* в других техногенных экотопах.

Морфометрические показатели роста и развития, жизненность популяций – интегральный признак, оценивающий состояние популяций и объединяющий такие признаки как возрастная и виталитетная структуры, плотность, семенная продуктивность позволяют совершать подбор экологически пластичных видов-фитомелиорантов на эдафотопов отвалов угольных шахт Донбасса. Установлено, что в условиях отвалов угольных шахт наиболее вариабельными популяционными параметрами являются возрастная, виталитетная структуры и плотность, они могут варьировать сезонно и по годам. Интегральную оценку состояния того или иного вида растений можно дать только на основании комплексного подхода.

Кроме того, А.З. Глуховым, А.И. Хархотой, И.В. Агуровой, С.И. Прохоровой в те же годы разрабатывается и другое направление, позволяющее оценивать (диагностировать) пригодность эдафотопов для рекультивации с помощью растений, и, в частности, с помощью тех или иных популяционных параметров, включая исследования на органном, организменном, видовом и популяционном уровнях. Разработка данного подхода производилась на примере изучения жизнеспособности популяций *Silene supina* M.Bieb. [9]. Индикаторами низкой жизнеспособности и стабильности являются неполночленность возрастных спектров, в частности отсутствие или критически низкий процент генеративных особей. Наличие в возрастной структуре подроста, генеративной части, достаточная плотность, высокая семенная продуктивность являются предпосылками для оценки эдафотопов породного отвала как пригодных для осуществления рекультивации. Разработанный способ диагностирования пригодности эдафотопов породных отвалов для фиторекультивации по жизнеспособности популяций растений (на примере *Silene supina*) – эффективен, удобен, не требует длительного мониторинга, позволяет быстро определить состояние эдафотопа и возможность заселения его растениями.

За 2010–2012 гг. в рамках выполнения НИР «Фиторазнообразие техногенных экосистем и

обоснование направлений их оптимизации» и «Разработка и подготовка для внедрения ботанико-индикационного метода оценки пригодности условий техногенных экотопов для восстановления растительного покрова и использования их как элементов экологической сети» продолжались опытные посадки фитомелиорантов с целью вовлечения новых видов растений в процесс озеленения, наряду с усовершенствованием методов фиторекультивации. В результате опытных посадок растений и наблюдений за ними А.З. Глуховым, С.П. Жуковым, И.В. Агуровой, С.И. Прохоровой, Ю.А. Штирц был разработан экономически выгодный способ фитотестирования техногенных экотопов методом оценки степени токсичности среды [10]. В его основу положены измерения прироста высаженных древесных растений, на основании чего делается заключение о возможности их произрастания в соответствующих техногенных условиях.

В 2012–2013 гг. А.З. Глуховым, А.И. Хархотой, С.П. Жуковым, И.В. Агуровой, С.И. Прохоровой, Ю.А. Штирц рассматривается возможность использования видов рода *Sedum* L. (Crassulaceae J. St.-Hil.) для озеленения отвалов угольных шахт. После проведения опытных посадок установлена возможность использования *S. pallidum* M. Bieb., *S. spurium* M. Bieb., *S. rupestre* L. как перспективных фитомелиорантов и на отвалах угольных шахт [12, 19]. Эти виды растений были успешно интродуцированы в условиях юго-востока Украины, поэтому их выбор не был случайным.

Использование комплексного подхода с оценкой устойчивости фитоценозов на основе системных показателей и рассмотрение процесса рекультивации техногенных земель как совокупности развивающихся биогеоценозов позволило С.П. Жукову разработать метод дифференцированной рекультивации с различным комплексом мер в зависимости от состояния конкретных биогеоценозов техногенного объекта, что позволяет получить необходимый экологический эффект при минимальных затратах. Благодаря этому методу появляется возможность проведения восстановления техногенных земель до состояния, позволяющего использовать их в качестве парковых территорий в городах или элемента экосетей [19–21, 25]. А.З. Глухов, С.А. Приходько, С.П. Жуков обратили внимание на то, что восста-

новление биогеоценотического покрова техногенных территорий является неотъемлемым элементом устойчивого развития и позволит предотвратить намечающееся в региональной сукцессионной системе формирование сукцессионных циклов из техногенных сообществ (которые конкурируют с естественными сообществами), что в перспективе способно привести к биогеоценотическому кризису [6]. Также С.П. Жуковым выявлен механизм распространения чужеродных видов через техногенные экотопы [22].

Начиная с 2016 г. в рамках выполнения научно-исследовательской темы «Флороценотические и эдафические предпосылки создания растительного покрова в техногенных экотопах и восстановления его на деградированных почвах Донбасса (на примере Донецко-Макеевской промышленной агломерации)» сотрудники лаборатории почвенно-экологических исследований отдела фитоэкологии (И.В. Агурова, С.П. Жуков, Ю.А. Штирц, С.Д. Трискиба) под руководством С.А. Приходько, а начиная с 2020 г., – Д.В. Сыщикова, продолжают работы по определению основных физических и химических свойств деградированных почв и субстратов, преобразующихся в процессе первичного почвообразования, с последующим выявлением основных этапов восстановления деградированных почв и формирования новых экосистем на техногенно нарушенных территориях. Одним из итогов этой работы может стать разработка методов скорейшего возобновления хозяйственного использования деградированных земель, использование их как основы для восстановления и развития в регионе высокорентабельной импортозамещающей виноградарско-винодельческой отрасли [23]. Проведение исследований в регионе позволило выделить среднее течение р. Грузская в качестве модельного объекта техногенно-природной экосистемы, характерной для региона, и проанализировать взаимодействие техногенной и природной составляющей, изучить их динамику и специфику развития [24]. Это позволит в дальнейшем перейти к разработке мер комплексного восстановления техногенно нарушенных земель.

Изучение антропогенно трансформированных экосистем, многие из которых не имеют аналогов в природной среде, существенно отличалось подходами на выделяемых этапах рассматриваемого временного промежутка, что обусло-

вило различную результативность предлагаемых методик. Расширение спектра проводимых исследований, использование системного биогеоценотического подхода и накопленный значительный практический опыт позволили существенно повысить эффективность предлагаемых разработок, и, в конечном итоге, результативность выполняемых работ.

Принимая во внимание вышеизложенное, а также учитывая специфику формирования и историю развития Донбасса как крупного промышленного региона, необходимость проведения дальнейших исследований по разработке методических подходов к рекультивации техногенных территорий не вызывает сомнений. Вместе с тем, изучение антропогенно трансформированных экосистем на данном этапе нельзя считать завершенным ввиду ряда проблем, решение которых неосуществимо за столь короткий промежуток времени.

1. Агурова И.В., Торохова О.Н. К вопросу изучения условий произрастания растений на отвалах угольных шахт Донбасса // Мировые инновационные технологии восстановления нарушенных и загрязненных земель: Тезисы докладов научно-практической конференции (Кемерово, 17–21 июня 2008 г.). Кемерово, 2008. С. 16–17.
2. Бакланов В.И. Терриконы как объект озеленения // Растения и промышленная среда. К.: Наук. думка, 1968. С. 157–161.
3. Бакланов В.И., Мазур А.Е., Бувевский Н.М. Методические рекомендации по защитно-мелиоративному озеленению породных отвалов. Донецк, 1980. 24 с.
4. Бакланов В.И., Повх В.Н. Методические рекомендации по биологической рекультивации площадей плоских породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик Украинской ССР. Донецк, 1990. 53 с.
5. Башкатов В.Г. Аномальность экотопа и его количественная оценка методом сбалансированного факторного комплекса // Промислова ботаника: стан та перспективи розвитку: Матеріали III Міжнародної наукової конференції (Донецьк, 3–5 вересня 1998 р.). Донецьк, 1998. С. 129–131.

6. Глухов А.З., Приходько С.А., Жуков С.П. Возрождение экосистем Донбасса, нарушенных горными работами // *Екологія і природокористування*. 2013. N 16. С.113–120.
7. Глухов О.З., Прохорова С.І., Хархота Г.І. Індикаційно-діагностична роль синантропних рослин в техногенному середовищі. Донецьк: Вебер, 2008. 232 с.
8. Глухов О.З., Хархота Г.І., Агурова І.В., Торохова О.М., Жуков С.П., Прохорова С.І., Аверчук А.С. Спосіб фіторекультивациі відвалів вугільних шахт з використанням *Gypsophila scorzonnerifolia* Ser. K., 2009. 14 с. Пат. 40471 МПК (2009) А01В 79/00. № u200813053.
9. Глухов О.З., Хархота Г.І., Агурова І.В., Прохорова С.І. Спосіб діагностування придатності едафотопів породних відвалів для фіторекультивациі за життєздатністю популяцій рослин (на прикладі *Silene supina* M.Bieb.). К., 2010. 22 с. Пат. №50523 u 2009 13646 МПК (2009) А01G 7/00.
10. Глухов О.З., Жуков С.П., Агурова І.В., Прохорова С.І., Штирц Ю.О. Спосіб фітотестування техногенних екотопів. К., 2012. 6 с. Пат. № u2011 15376 70512 Україна, МПК (2012.01) А01G 7/00.
11. Глухов А.З., Хархота А.И., Прохорова С.И., Агурова И.В. Фитоадаптивная типизация техногенных экотопов // *Промышленная ботаника*. 2012. Вып. 12. С. 3–11.
12. Глухов О.З., Агурова І.В., Прохорова С.І., Штирц Ю.О., Крохмаль І.І., Хархота Г.І., Жуков С.П. Спосіб використання видів рослин з Сам-метаболизмом для локального озеленення породних відвалів вугільних шахт. К., 2015. Пат. 99692 Україна, МПК А01G 7/00.
13. *Донецкий ботанический сад: история и современность* / под общ. ред. С.А. Приходько. Донецк: ИПП «ПРОМИНЬ», 2020. 324 с.
14. Жуков С.П. Каскадный эффект первинної сукцесії на відвалах вугільних шахт Донбасу // *Укр. ботан. журн.* 1999. N 1. С. 5–10.
15. Жуков С.П. Структурная дифференциация сукцессионной системы центрального Донбасса под антропогенным влиянием // *Промышленная ботаника*. 2002. Вып. 2. С. 21–26.
16. Жуков С.П. Взаимоотношения растений на первой стадии сукцессии растительности отвалов шахт // *Промышленная ботаника*. 2003. Вып. 3. С. 25–29.
17. Жуков С.П. О Возможности регулирования развития фитоценозов в техногенных экотопах Донбасса на основе сукцессионного подхода // *Промышленная ботаника*. 2006. Вып. 6. С. 15–20.
18. Жуков С.П. Состояние растительного покрова техногенных экотопов Донецкой области // *Биологическая рекультивация и мониторинг нарушенных земель: Материалы международной научной конференции* (Екатеринбург, 4–8 июня 2007 г.). Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. ун-та, 2007. С. 251–261.
19. Жуков С.П. К методике определения организации и устойчивости фитоценозов в ходе их развития на отвалах угольных шахт // *Промышленная ботаника*. 2012. Вып. 12. С. 19–24.
20. Жуков С.П. Дифференцированная рекультивация породных отвалов шахт // *Использование терриконов: Генеральное консульство ФРГ, ДонНАСА, круглый стол* (Донецк, 13 декабря 2011 г.). Донецк, 2011. С. 20.
21. Жуков С.П. Эволюционные последствия техногенного преобразования среды для растительного покрова // *Современная биология растений: Материалы IV Международной научной конференции* (Луганск, 3–7 июня 2013 г.). Луганск: Элтон-2, 2013. С. 45–49.
22. Жуков С.П. О механизмах распространения чужеродных видов через техногенные экотопы Донбасса // *Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона*. 2018. N 1–2. С. 13–18.
23. Жуков С.П. Возделывание технических сортов винограда как способ реабилитации деградированных земель и возможность развития высокорентабельной импортозамещающей отрасли в ДНР // *Агропромышленная политика Донецкой Народной Республики: реалии и перспективы: Материалы научной конференции* (Донецк, 30 мая 2019 г.). Донецк, 2019. С. 220–227.
24. Жуков С.П. Состояние экосистемы среднего течения р. Грузская // *Отходы, причины их образования и перспективы использования: Материалы международной научной экологической конференции* (Краснодар, 26–27 марта 2019 г.). Краснодар, 2019. С. 436–438.
25. Жуков С.П. Использование сезонной и суточной динамики техногенных биогеоценозов для их фиторекультивации // *Проблемы эко-*

- логії та охорони природи техногенного регіону. 2012. N 1(12). С. 83–87.
26. *Зражевский А.И.*, Попов М.А. Инструкция по озеленению терриконов. К.: Изд-во Мин-ва коммунального хозяйства УССР, 1953. 21 с.
27. *Зубова Л.Г.* Теоретичні і прикладні основи відновлення техногенних ландшафтів до рівня природних (на прикладі терриконових ландшафтів Донбасу): автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Дніпропетровськ, 2004. 32 с.
28. *Логгинов Б.И.*, Киричек Л.С. Методические рекомендации по защитно-декоративному облесению терриконов угольных шахт Донбасса. Донецк, 1978. 39 с.
29. *Правила* проведення біологічної рекультивациі породних відвалів вугільних шахт України / [В.Г. Башкатов, В.Т. Вовк, О.З. Глухов та ін.]. К.: Мінвуглепром України, 2007. 30 с.
30. *Промышленная ботаника* // под ред. Е.Н.Кондратюка. К.: Наук. думка, 1980. 257 с.
31. *Рева М.Л.* Класифікація техногенних ландшафтів Донбасу з метою їх рекультивациі // Біогеоценологічні дослідження на Україні: Тези доповідей І республіканської наради (Львів, 28–30 жовтня 1975 р.). Львів, 1975. С. 184–186.
32. *Рева М.Л.* Антропогенные ландшафты Донбасса // Географические исследования в Донбассе. Донецк, 1975. С. 62–69.
33. *Рева М.Л.*, Бакланов В.І. Початкові стадії ґрунтоутворення на терриконах шахт Донбасу // Інтродукція та експериментальна екологія рослин. 1972. Вип. 1. С. 188–194.
34. *Рева М.Л.*, Бакланов В.И., Буевский Н.М. Временные рекомендации по озеленению породных отвалов угольных шахт и обогатительных фабрик Донбасса. Донецк: ЦБНТИ, 1974. 20 с.
35. *Рекомендации* по формированию мелиоративного растительного покрова на отвалах угольных шахт Донбасса / В.Г. Башкатов, О.Н. Торохова, С.П. Жуков. Донецк, 2002. 36 с.
36. *Сетт И.В.* Изучение структуры популяций растений на отвалах угольных шахт Донбасса // Промышленная ботаника. 2004. Вип. 4. С. 221–227.
37. *Торохова О.Н.*, Агурова И.В. Оценка пригодности пород промышленных отвалов Донбасса для произрастания растений // Промышленная ботаника. 2008. Вип. 8. С. 12–16.
38. *Хархота А.И.* Перспективные фитомелиоранты для рекультивации техногенных земель // Информационный листок № 89–92. Донецкий ЦНТИ, 1992. 3 с.
39. *Хархота А.И.* Подбор фитомелиорантов для рекультивации техногенных земель // Интродукция и акклиматизация растений. 1989. Вип. 12. С. 45–47.
40. *Хархота А.И.* Об особенностях виталитета популяций растений в техногенных экотопях // Интродукция и акклиматизация растений. 1993. Вип. 20. С. 47–50.
41. *Хархота А.И.* Популяционные аспекты становления флоры техногенных экотопов // Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития: Тезисы докладов международной научной конференции (Кривой Рог, май 1993 г.). Донецк, 1993. С. 66–67.
42. *Шалит М.С.*, Костомаров В.М. Дослідне озеленення терриконів Донбасу // Доповіді АН УРСР. 1950. N 5. С. 399–404.
43. *Шалит М.С.*, Костомаров В.Н. Посадка на терриконах // Лесное хозяйство. 1950. N 12. С. 23–29.

Поступила в редакцию: 16.09.2020

UDC 001.892:631.619:58.006(477.62)

**SHORT ESSAY ON THE HISTORY OF THE SCIENTIFIC RESEARCH DEVELOPMENT
DEVOTED TO THE PHYTORECLTIVATION OF DONBASS TECHNOGENOUS ECOTOPES
BY SCIENTISTS OF THE DONETSK BOTANICAL GARDEN**

D.V. Syshchykov, I.V. Agurova, S.P. Zhukov, Yu.A. Shtirts

Public institution «Donetsk Botanical Garden»

The article is an essay on the history of the development of scientific research on the phytoremediation of Donbass technogenous ecotopes by scientists of the Donetsk Botanical Garden from the 60s of the XX century to the present time. The main scientific results and outcome of each stage of the study were analyzed. The study of anthropogenic transformed ecosystems differed by approaches at every stage of the time frame in question, which led to different results of the used methodologies. The expansion of the range of research carried out and the accumulated practical experience have significantly increased the effectiveness of the proposed developments.

Key words: industrial botany, coal mine dump, phytoremediation, salinity, edaphotope, vegetation cover