

Новицкий Максим Леонидович

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭМБРИОЗЕМОВ СУЛЬФИДСОДЕРЖАЩИХ  
ПОРОД ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ  
И ПУТИ ИХ ОПТИМИЗАЦИИ**

03.02.08 – экология

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» (г. Ялта).

**Научный руководитель:** доктор сельскохозяйственных наук  
**Опанасенко Николай Евдокимович**  
главный научный сотрудник лаборатории  
агроэкологии ФГБУН «НБС-ННЦ»

**Научный консультант:** доктор сельскохозяйственных наук, чл.-корр. РАН,  
**Плугатарь Юрий Владимирович**  
директор ФГБУН «НБС-ННЦ»

**Официальные оппоненты:**  
**Андроханов Владимир Алексеевич**, доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией рекультивации почв ФГБУН института почвоведения и агрохимии СО РАН.

**Ергина Елена Ивановна**, доктор географических наук, профессор кафедры физической географии океанологии и ландшафтоведения факультета географии, геоэкологии и туризма КФУ им. В.И. Вернадского.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Защита диссертации состоится «26» марта 2020 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 900.011.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН» по адресу: 298648, Российская Федерация, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52; E-mail: [dissovet.nbs@yandex.ru](mailto:dissovet.nbs@yandex.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБУН «НБС-ННЦ» по адресу: 298648, Российская Федерация, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52, адрес сайта: <http://nbgnsipro.com>.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.б.н.

Корженевская Юлия Владиславовна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** При добыче полезных ископаемых из оборота изымаются все новые и новые сельскохозяйственные и лесные угодья, соответственно возрастают и площади нарушенных земель. В России при добыче только открытым способом угля, железных, марганцевых руд и флюсов нарушено более 1,1 млн. га различных земельных угодий. Восстановление нарушенных земель является одним из важнейших процессов воспроизводства компонентов экосистем техногенных ландшафтов. На вынесенных на поверхность отвалах вскрышных пород угольных месторождений под влиянием природных факторов начинается процесс первичного почвообразования, формируются молодые почвы, которые заметно отличаются по свойствам от зональных почв сопредельных территорий.

Отвалы с серосодержащими породами – сложнейший объект для рекультивации (создания эдафотопы) и дальнейшего биологического освоения. По эколого-биологической и агрохимической классификации горных пород Н.Т. Масюка (1992), А.И. Савича (1974) и В.А. Андроханова (2015) углистые сланцы отнесены к 5-му классу и оценены ими как непригодные для биологической рекультивации без коренного улучшения.

В сульфидсодержащей породе в отвалах содержатся фитотоксичные углистые и глинистые сланцы, аргиллиты. В процессе перемещения породы на дневную поверхность под влиянием различных факторов активизируется физическое выветривание, окисление, растворение, гидролиз, гидратация, происходит горение и пыление отвалов (Ковда, 1973; Бакланов, 1984; Максимович, 1991; Зверковский, 2001; Андроханов, 2010; Дмитрова, 2019).

Анализ научной литературы по серосодержащим отвалам показал, что их свойства, режимы и экологические функции имеют четко выраженную региональную и индивидуальную специфику, и в отдельных регионах остаются малоизученными. В частности, недостаточно изучены посттехногенные воздействия на показатели плодородия эмбриоземов и на древесно-кустарниковые растения в возрасте 10 и более лет. Не изучены динамика кислотного комплекса, трансформация дисульфидов в сульфаты, оструктурирование, содержание экстрагируемого органического вещества, азота, фосфора, калия и влаги в молодых почвах понижений. Не проведена оценка пригодности эмбриоземов под различные виды деревьев и кустарников и не установлены для них допустимые критерии основных эдафических показателей. Это свидетельствует об актуальности и необходимости проведения дальнейших исследований.

**Степень разработанности.** Восстановлению экосистем на сульфидсодержащих отвалах уделено большое внимание (Савич, 1969; Зайцев, 1970; Адерихин, Дудкин, 1986; Баньковская, Н.Г. Максимович, 1989; Г.И. Махонина, 2003, Костенко, Опанасенко, 2005). В существующих работах отражены процессы формирования растительного покрова, некоторые свойства, режимы и экологические функции молодых почв.

### **Цели и задачи.**

**Цель:** Выявить особенности автогенной сукцессии и первичного почвообразования на сульфидсодержащих шахтных отвалах для разработки приемов оптимизации этих процессов.

### **Задачи исследования:**

1. Изучить динамику видового состава растительных сообществ на сульфидных породных отвалах и установить их систематическую, географическую и биоморфологическую структуру.

2. Установить стадийность и интенсивность процессов саморекультивации в соответствии с развивающимися процессами выветривания и почвообразования в понижениях на сульфидных отвалах.

3. Изучить физические, водно-физические, химические свойства, водный режим эмбриоземов, а также содержание элементов минерального питания в них на тренде автогенной сукцессии.

4. Установить эдафические критерии пригодности техногенных субстратов для древесно-кустарниковых растений и на основе комплексного изучения особенностей развития этих растений (жизненность, распространение корневой системы) выявить наиболее устойчивые виды для использования при создании искусственных фитоценозов.

**Научная новизна.** На основе комплексных исследований системы «сульфидсодержащий субстрат – рельеф – эмбриоземы, эдафотоп – климатоп – растительность» выявлены особенности автогенной сукцессии, установлены свойства и показатели плодородия эмбриоземов и техногенных субстратов, дана оценка их пригодности для фитомелиорации.

**Теоретическая значимость:** Установлена динамика видового состава фитоценозов, систематическая структура, структура корневой системы растений в ходе развития молодой почвы на сульфидсодержащих отвалах. Доказано, что эдафические факторы являются лимитирующими для развития растительных сообществ на отвале.

**Практическая значимость:** Разработаны малозатратный рельефоформирующий и физико-химический способы рекультивации фитотоксичных, серосодержащих пород шахтных отвалов. Подобран ассортимент перспективных древесно-кустарниковых растений для создания искусственных фитоценозов на сульфидсодержащих отвалах.

Научные исследования легли в основу разработки двух проектов по горнотехнической и биологической рекультивации сульфидных горных пород отвалов на шахте «Степная», балки «Безымьянная» и шахте «Юбилейная» ПАО «ДТЭК «Павлоградуголь».

**Методология и методы исследования.** Методологической основой диссертационного исследования послужили труды зарубежных и отечественных ученых в области восстановления техногенно нарушенных в результате угледобычи биogeоценозов и изучения процессов оптимизации отвалов, в частности сульфидсодержащих. При выполнении работы использованы стандартные методы изучения автогенной сукцессии, методы исследования эмбриоземов и сульфидной горной породы, а также методы математической статистики.

### **Положения, выносимые на защиту:**

Создание бугристо-западинного рельефа в процессе оптимизации вершин сульфидсодержащих шахтных отвалов способствует образованию молодых почв за счет дополнительного поверхностного стока атмосферных осадков и сноса

тонкодисперсных частиц шахтной породы и интенсивно протекающих процессов выветривания, окисления, выщелачивания и рассолонцевания в понижениях, благодаря чему через 10-12 лет на отвалах формируются пионерные растительные сообщества.

На шахтных отвалах протекает автогенная сукцессия по типу благоприятствования на пионерной стадии до момента формирования древесно-кустарниковых растений. Далее сукцессия протекает по типу толерантности.

Видовой состав, стадийность и интенсивность прогрессивной сукцессии связаны с развивающимися во времени процессами выветривания и почвообразования, а также с плодородием молодой почвы.

**Степень достоверности результатов** исследования подтверждена четкой постановкой цели и задач, тщательным планированием эксперимента, использованием соответствующих методов и применением статистической обработки.

**Апробация результатов.** Основные результаты исследований доложены на международных конференциях «Рекультивация складных техноэкосистем в новом тысячелетии: ноосферный аспект» (Днепропетровск, 29–30 мая 2012 г.) и «Відновлення порушених природних екосистем» (Донецк, 12–15 мая 2014 г.); конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов 2015» (Россия, Москва, МГУ, 13 – 17 апреля 2015 г.); на научно-практической конференции «Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами» (Ялта – Севастополь, 28–30 сентября 2015 г.); на научных чтениях «Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологические устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства», посвященных памяти члена-корреспондента РАСХН и НАН КР, академика МАЭП и РАВН Якова Васильевича Бочкарева (Рязань, 2015 г.); на Всероссийской с международным участием научной конференции «Актуальные проблемы устойчивого развития агроэкосистем (почвенные, экологические, биоценологические аспекты)», посвященной 60-летию лаборатории агроэкологии Никитского ботанического сада (Ялта, 7 – 11 октября 2019 г.).

**Публикации:** По теме диссертационной работы опубликовано 20 печатных работ, из них в журналах, рекомендованных ВАК – 7.

**Личный вклад автора.** В диссертацию вошли материалы, полученные лично автором в результате полевых и лабораторно-аналитических исследований в 2010–2012 гг. Автор выполнил весь объем исследований, провёл анализ полученных данных, сформулировал основные положения диссертации, составляющие ее новизну и практическую значимость.

**Структура работы:** Диссертация изложена на 209 страницах, состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов, списка литературы, включающего 455 источников, из них 111 на иностранных языках, и приложений, изложенных на 12 страницах. Работа включает 32 таблицы и 18 рисунков.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### РАЗДЕЛ 1 РАСПРОСТРАНЕНИЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА СУЛЬФИДНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ

В обзоре научной литературы рассмотрены современные подходы к развитию автогенных сукцессий, на техногенных субстратах и первичного почвообразования в различных природных зонах (Clements, 1904, 1916, 1936; Лавренко, 1940; Ярошенко, 1961; Махонина, 1974; Трофимов, 1977; Махониной, 2003; Сумина, 2008; Дмитрова, 2019 и др.). Приведена классификация, морфология, генезис и распространение отвалов с сульфидсодержащей горной породой (Классификация..., 1997, 2004; Махонина, 1992; Чевычелов, 1992; Шаталов 1992; Елпатьевская, 1995; Масюк, 2001; Костенко 2005; 2005а; Биологическая рекультивация и мониторинг..., 2008; Андроханов, 2010). Подробно рассмотрены её физические, химические и физико-химические свойства (Дудкин, 1989; Келеберда, 1992; Масюк, 1992; Елпатьевская, 1995; Панас, 1998).

### РАЗДЕЛ 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на стационарных опытно-производственных участках на вершине трапецевидного отвала, оптимизированного рельефоформирующим способом ( $S = 0,8$  га), закрывающейся шахты «Першотравнева», г. Першотравенск, Павлоградского района, Днепропетровской области. На вершине отвала последовательной отсыпкой шахтной породы был сформирован бугристо-западинный мезорельеф.

При изучении автогенной сукцессии растительного покрова определяли динамику видового состава фитоценозов, сопряженность видов с условиями местообитания, систематическую структуру нативной части фитоценозов, географическую (ареалогическая) структуру, основные жизненные формы (биоморфы) и структуру корневой системы растений. Сопряженность особей видов растений с условиями местообитаний оценивали по экологическим шкалам Л.Г. Раменского, Х. Элленберга (Корженевский, 1990). Для определения экологической толерантности растений использовали 100-балльную шкалу экологических факторов базы данных «Экодата» и программу «Pover» для оценки емкости местообитаний, разработанные в лаборатории флоры и растительности Никитского ботанического сада (Корженевский, 1990, 1999). Данная база содержит унифицированную информацию о размещении видов вдоль градиентов факторов-условий и факторов-ресурсов. Точку оптимума и реализованный фрагмент градиента на нем определяли для ведущих факторов-условий и факторов ресурсов (освещенность – затенение; терморезим, аридность – гумидность (омброрезим), криорезим, континентальность, увлажнение, переменность увлажнения, кислотность субстрата, солевой режим (анионный состав), содержание карбонатов, содержание азота, содержание гумуса, гранулометрический (механический) состав субстрата). Для определения жизненных форм использована система Раункиера (Raunkiaer, 1937).

В работе применена классификация техногенных ландшафтов, предложенная И.М. Ганджиевым и В.М. Курачевым (Экология и рекультивация..., 1992), в модификации В.М. Курачева и В.А. Андроханова (Курачев, 2002). На отвале выделены

эмбриоземы инициальные, эмбриоземы органо-аккумулятивные и эмбриоземы дерновые.

В исследования включены 20–22-летние молодые почвы межбугорных понижений (эмбриоземы). Для выявления особенностей формирования молодых эмбриоземов на отвалах изучали их физические, физико-химические и химические свойства и агрохимические показатели в межбугорных понижениях под искусственными и естественными фитоценозами. Контролем служила сульфидная горная порода, отобранная с не заросших вершин, или склоны бугров.

При полевых и лабораторных исследованиях молодых почв и горной породы использованы принятые в почвоведении ГОСТы, ДСТУ и методики.

Площадь межбугорных понижений на шахте «Першотравнева» составляла от 3,5 до 10 м<sup>2</sup>. Проектное покрытие естественной растительности в межбугорных понижениях было 30–95%.

С целью выявления перспективных видов древесно-кустарниковых растений для фитомелиорации сульфидсодержащих отвалов изучали морфометрические параметры, структуру корневой системы и декоративность 17 видов растений, высаженных случайно на опытном участке в межбугорных понижениях: *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *Juniperus sabina* L., *Juniperus virginiana* L., *Platycladus orientalis* (L.) Franco, *Symphoricarpos albus* (L.), *Robinia pseudoacacia* L., *Buddleja davidii* Franch., *Spiraea* × *vanhouttei* (Briot) Carriere), *Ligustrum vulgare* L., *Gleditsia triacanthos* L., *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Fraxinus lanceolata* Borkh., *Elaeagnus angustifolia* L., *Syringa vulgaris* L., *Forsythia* × *intermedia* Zabel, *Tamarix tetrandra* Pall. ex M.Bieb.

Для выявления техногенных субстратов, ускоряющих процессы нейтрализации кислотности и способствующие улучшению свойств сульфидной породы, был заложен опыт на ПСП «Шахта «Павлоградская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь» рекультивированного в 1999 г. малозатратным физико-химическим способом. Площадь опытного участка составила 0,15 га. В исследовании использованы окарбоначенная сульфидная горная порода с внесением и запахиванием на глубину 20 см древесных опилок – ДО (ГП+КС+ДО) и окарбоначенная горная порода с внесением и запахиванием осадков хозяйственных стоков – ОХС (ГП+КС+ОХС). Опилки и осадки хозяйственных стоков на окарбоначенную горную породу отсыпались слоем 5 см. Норма отсыпки карбонатного желто-бурого лессовидного суглинка рассчитывалась по содержанию Ca<sup>2+</sup> в суглинке и S валовой в сульфидной породе. В среднем на 1 га вносилось 800–1000 т суглинка.

Оценку техногенных субстратов проводили как по сравнительному анализу свойств почв, так и по морфометрическим параметрам и декоративности 19 видов древесно-кустарниковых растений: *Gleditsia triacanthos* L, *Tamarix tetrandra* Pall. ex M.Bieb., *Symphoricarpos albus* (L.) S.F. Blake, *Elaeagnus commutata* Bernh. ex Rydb., *Catalpa bignonioides* Walter, *Spiraea vanhouttei* (Briot) Zabel, *Pyracantha crenulata* (Roxb. ex D. Don) M. Roem., *Pinus nigra* subsp. *Pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *Acer platanoides* L. и др.

### РАЗДЕЛ 3 ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследования относится к центральной умеренной засушливой агроклиматической зоне северной степи Украины. Климат - умеренно-континентальный. Почвы региона делятся на две группы. В первую группу входят автоморфные почвы, формирующиеся на коренных берегах или верхних террасах реки Самары с уровнем грунтовых вод глубже 10–15 м. Наиболее распространенными среди них являются зональные обыкновенные малогумусные черноземы, содержащие в верхнем горизонте 4–5% гумуса. Во вторую группу входят гидроморфные или полугидроморфные почвы, находящиеся в пределах поймы реки Самары. Эти почвы при весеннем разливе иногда испытывают кратковременное затопление. Кроме того, грунтовые воды залегают выше критического уровня, в результате чего в пойме сформировались болотные, лугово-болотные и лугово-черноземные почвы, в разной степени засоленные и солонцеватые (Белова, 1999).

На размытой поверхности докембрийских кристаллических пород Украинского щита залегает осадочно-эффузионная толща девонского возраста, характеризующаяся переслаивающимися известняками, песчано-глинистыми сланцами и другими породами. Поверх девонских отложений находится толща пород каменноугольного возраста, представленная верхним и средним карбоном. К этим отложениям приурочены прослойки каменного угля. В строении каменноугольной толщи принимают участие обломочные, глинистые, углистые породы, песчаники серого и темно-серого цвета и алевриты. Глинистые породы представлены преимущественно аргиллитами и уплотненными глинами с содержанием частиц размером  $<0,001$  мм 57–64%.

В Присамарье сформировано два микроландшафта – приводораздельно-балочный и террасовый. Для приводораздельно-балочного ландшафта характерно то, что сельскохозяйственные угодья разнообразятся наличием балочных систем, дающих приют байрачным лесам и фрагментам степных целинок.

В байрачных лесах господствуют дубравы, где помимо дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), преобладают ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.) и липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.). В подлеске – лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.), клен татарский (*Acer tataricum* L.), бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosus* Scop.), бузина черная (*Sambucus nigra* L.). В нижнем ярусе формируется дубравное разнотравье: фиалка удивительная (*Viola mirabilis* L.), копытень европейский (*Asarum europaeum* L.), медуница неясная (*Pulmonaria obscura* Dumort.) и др.

Для степных участков характерна зональная степная растительность, которая формируется в пределах зоны обыкновенных черноземов и характеризуется господством узколистных плотнoderновинных злаков (*Stipa lessingiana* Trin. et Rupr., *Stipa capillata* L., *Festuca valesiaca* ex Gaudin.) с значительной примесью двудольных (*Medicago kotovii* Wissjul., *Galium ruthenicum* Willd., *Serratula bracteifolia* Stank., *Filipendula vulgaris* Hill., *Trifolium alpestre* L.) (Белова, Травлеев, 1999).

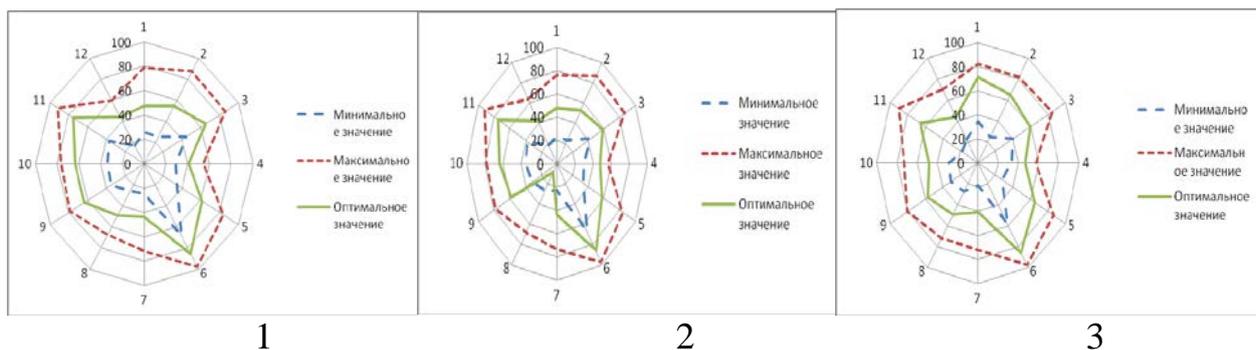
## РАЗДЕЛ 4 ДИНАМИКА АВТОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ НА СУЛЬФИДСОДЕРЖАЩИХ ШАХТНЫХ ОТВАЛАХ И РЕАКЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДЕРЕВЬЕВ И КУСТАРНИКОВ НА СВОЙСТВА ЭМБРИОЗЕМОВ

**Первичная сукцессия на эмбриоземах сульфидных отвалов.** На вершине отвала через 10–12 лет после прекращения отсыпки породы было проведено геоботаническое обследование и выявлены три растительных синузии, представленных 35 видами высших сосудистых растений, относящиеся к 15 семействам. Наибольшим количеством видов представлено семейство Asteraceae (27% от общего количества видов), за ним следуют семейства: Poaceae – 19%, Fabaceae – 14%, Polygonaceae – 9%, Brassicaceae – 6%, Santalaceae – 6%; остальные 9 семейств представлены одним видом.

Первая синузия – синузия тростника (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) - формируется в пониженной блюдцеобразной части отвала, где активно аккумулируются осадки и продукты смыва, вторая – синузия вейника (*Calamagrostis epigejos* (L.) Roth) – на участках межбугровых понижений с намытым элювием и третья синузия – синузия вязеля (*Securigera varia* (L.) Lassen) – фрагмент поверхности с внесенными строительными отходами (древесные опилки). Проективное покрытие составляло: синузия вязеля – 70%, синузия вейника – 55%, синузия тростника – 90%. Общее число видов в синузиях варьировало от 18 до 25.

Используя программу «Pover» и базу данных «Экодата», содержащую информацию о размещении видов растений вдоль градиентов среды, нами установлены минимальные, максимальные и оптимальные значения факторов-среды и факторов-условий для каждой синузии.

Как видно на рисунке 1, наиболее оптимальные условия увлажнения создаются в межбугровых понижениях отвала, что позволяет сделать вывод о том, что данная форма рельефа является благоприятной для произрастания растений по эдафическим факторам (гранулометрический состав, реакция среды).



Наименование осей: 1 – освещённость-затенение, 2 – температура воздуха, 3 – аридность-гумидность, 4 – криорежим, 5 – континентальность климата, 6 – увлажнение, 7 – переменность увлажнения, 8 – кислотность субстрата, 9 – солевой режим (анионный состав), 10 – содержание карбонатов, 11 – содержание азота, 12 – гранулометрический (механический) состав субстрата.

Рисунок 1 - Положение сообществ синузий (1 – вейника, 2 – вязеля, 3 – тростника) на градиентах факторов среды

Растения на исследуемой территории, в большинстве случаев, не осваивают верхние горизонты субстрата, а отдают предпочтение средним и глубоким слоям. Формирование глубокой корневой системы указывает на иссушаемость верхних

слоев субстрата. По типам корневых систем абсолютно преобладают виды со стержневой системой – 26 видов, а среди них со стержневой системой глубокого залегания (>50 см) – 19 видов, среднего залегания (10-15 см) – 7 видов. Кистекарневой системой характеризовались 12 видов растений, причем: кистекарневой глубокой (4-10 см) – 5 видов, средней (2-5 см) – 3 вида и короткой (1-3 см) – 4 вида.

В ходе геоботанического обследования территории отвала горной породы закрывающейся шахты «Першотравнева» через 22–25 лет после завершения отсыпки было зарегистрировано 70 видов высших сосудистых растений, относящихся к 21 семейству.

Анализ систематической структуры нативной части видового состава отвала вскрывает в целом зональный тип организации данной флоры, свойственной Присамарью. Крупнейшим семейством выступает семейство Asteraceae (27% от общего количества видов), за ним следуют семейства Poaceae – 16%, Fabaceae – 10%, Rosaceae – 9%, Polygonaceae – 7%, Chenopodiaceae – 4%. Остальные семейства представлены 1–2 видами.

Полученные результаты геоботанического исследования через 25 лет после завершения отсыпки отвала показали, что идет интенсивное развитие автогенной сукцессии. Кроме 15 семейств, которые были обнаружены при первом обследовании (12 лет после отсыпки), этот список дополнился видами из 7 новых семейств. Следует отметить, что при первом обследовании виды семейства Rosaceae отсутствовали, а при повторном обследовании выявлены шесть видов. Не выявлены *Thesium arvense* Horv и *Th. brachyphyllum* Boiss., относящиеся к семейству Santalaceae.

Под географической (ареалогической) структурой понимаем свойственные соотношения групп видов растений, объединенных общностью своих ареалов. Анализ исследуемых фитоценозов отвала шахты «Першотравнева» показал их обособленность по отношению к региональной флоре Присамарья и вскрыл односторонность и дефектность (таблица 1). Наиболее представленными являются виды голарктического типа ареала (более 50 %), в частности антропофильного элемента – рудеральные и сегетальные растения. Эти виды распространены по всей Голарктике и Палеарктике. Вторая крупная группа – виды переходного (Средиземноморско-европейского) типа ареала (более 20%), третью ступень занимают адвентивные виды. Таким образом, географическая структура фитоценозов шахтного отвала свидетельствует о том, что флороценогенез находится в начальной стадии сукцессионного процесса.

Основные жизненные формы (биоморфы) в значительной степени характеризуют результат приспособления растений к молодым, преимущественно кислым почвам отвалов. Биоморфы показывают направления адаптации, позволяющие выжить и удержаться на своем местообитании. Свойства, которыми обладают отдельные биоморфы в соответствии к условиям среды обитания, называют признаками приспособления. На основании признаков приспособления к переживанию неблагоприятных условий среды, особенно в критические периоды (зимние холода, летняя жара) построены многие системы жизненных форм.

Таблица 1 – Географическая структура сообществ поверхности отвала горной породы шахты «Першотравнева»

Тип ареала, ареалогическая группа	Число видов	% от общего количества
Древнесредиземноморский: Собственно средиземноморская	1	1,43
Переходный – Средиземноморско-европейский: Европейско-средиземноморская	4	5,72
Европейско-средиземноморско-переднеазиатская	11	15,73
Евразийский степной: Понтичско-казахстанская	3	4,29
Переходный – Средиземноморско-евразийский степной: Средиземноморско-евразийская степная	4	5,72
Переднеазиатская и евразийская степная	2	2,86
Средиземноморско-переднеазиатская и евразийская степная	1	1,43
Голарктический: Голарктическая	10	14,3
Палеарктическая	10	14,3
Западнопалеарктическая	11	15,73
Южнопалеарктическая	2	2,86
Европейская	2	2,86
Адвентивный	9	12,87

При сравнении соотношений отдельных групп жизненных форм растений фитоценозов, сформированных на поверхности отвала со спектрами биоморф двух зональных типов растительности Присамарья – колковых (байрачных) лесов и степной растительности видно, что по составу биоморф растительные сообщества отвала ближе к типу растительности байрачных лесов по присутствию фанерофитов и гемикриптофитов (собственно к чему мы стремимся подойти при формировании древесно-кустарниковых насаждений на отвалах). Однако почти отсутствуют виды с жизненной формой хамефит, которые переживают неблагоприятные периоды под защитой снежного покрова или под покровом опада или ветоши. Условия для хамефитов будут достигнуты только на стадии сформированного растительного покрова (с точки зрения развития сукцессии на отвале, это возможно лет через 25–40). В то же время, велико число видов, избегающих температурных экстремумов: криптофитов – 13,8% (прячут почки возобновления под поверхность субстрата) и терофитов – 29,3% (проходят жизненный цикл от семени до семени в очень сжатые сроки, используя благоприятные сезонные экологические ниши). Из-за короткого (однолетнего) цикла развития терофиты имеют ограниченную продуктивность, поэтому не достигают больших размеров, не могут заметно воздействовать на породу и почву и быть конкурентоспособными.

Изучение корневых систем растений, произрастающих на отвале через 25 лет после завершения отсыпки показало, что преобладающим типом корневой системы

являлся интенсивный – стержнекорневой (рисунок 2). Таким типом обладают 81,4% видов растений. Из них глубоководных 55,7%, среднекорневых - 25,7%. На виды с экстенсивным типом корневой системы в общей сложности приходится всего 18,6%.



Условные обозначения:

Тип корневой системы:

 экстенсивный (кистекокорневой)
  интенсивный (стержнекорневой)

Глубина залегания корневой системы:

 глубокая
  короткая
  средняя

Рисунок 2 – Тип и структура корневой системы растений горного отвала шахты «Першотравнева» через 25 лет после завершения отсыпки

Количественные соотношения типов корневых систем растений, сложившиеся в процессе сукцессионного развития сообществ, свидетельствуют о напряженном гидротермическом режиме в приповерхностных слоях 0–10, 0–20 см, в которых еще активно развивается кислотный комплекс и другие микропроцессы. Поэтому корни предпочитают развиваться в слоях 30–60-сантиметровом слое почвы, где эти процессы заторможены или завершаются, а агрессивные компоненты продуктов выветривания и почвообразования на сульфидных горных породах не так активно аккумуляруются.

### **Определение оптимальных значений эдафических критериев, определяющих пригодность эмбриоземов для древесно-кустарниковых растений и выявление наиболее устойчивых видов для выращивания на серосодержащих отвалах**

Для выявления видов растений, перспективных для создания искусственных фитоценозов на сульфидных отвалах нами был заложен опыт на опытно-производственном участке шахты «Першотравнева» в 2000 г. Было высажено 190 экземпляров 17 видов древесно-кустарниковых растений.

Исследование показали довольно высокую приживаемость саженцев (77%) в таких условиях местообитания. С момента посадки растений и до момента

наблюдений (2010 г.) из 17 видов деревьев и кустарников осталось 10 видов. Также на отвале отмечено произрастание спонтанно поселившихся четырех видов древесно-кустарниковых растений: груша, абрикос, яблоня и шиповник. Изучение морфометрических показателей растений данных видов свидетельствует об их хорошем жизненном состоянии и достаточно высокой декоративности, что дает основание считать их перспективными для фитомелиорации отвалов (таблица 2).

Таблица 2 – Морфометрические показатели и декоративность древесно-кустарниковых растений на вершине шахтного отвала

Название растений	Высота растений, м	Диаметр проекции кроны, см	Окружность штамба, см	Декоративность, баллы
<i>Acer platanoides</i> L.	3,5±0,08	300±9,72	34±0,91	3,5
<i>Armeniaca vulgaris</i> Lam.	4,0±0,34	700±16,20	72±1,98	4
<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	4,7±0,09	630±10,02	33±1,05	4
<i>Forsythia xintermedia</i> Zabel	1,8±0,30	136±13,28	-	4
<i>Quercus robur</i> L.	4,3±0,25	360±7,26	42±0,98	4
<i>Pyrus communis</i> L.	3,5±0,45	440±15,71	44±1,34	4
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	6,0±0,29	650±11,39	67±2,01	3,5
<i>Symphoricarpos albus</i> L.	0,9±0,10	100±10,12	-	3
<i>Syringe vulgaris</i> L.	0,7±0,25	56±7,27	11±0,82	4
<i>Tamarix tetrandra</i> Pall.	3,5±0,46	600±15,42	-	4

Изучение физико-химических и химических свойств почв в корнеобитаемом слое (0–60 см) всех видов растений, показало, что запасы мелкозема составляют не менее 4300 т/га, органического вещества - 0,8 т/га, рН солевой вытяжки - не ниже 3,7, а концентрация подвижного алюминия снижается до 8,1 мг/кг.

Полученные данные свидетельствуют, что установленные значения определяют пригодность молодых почв понижений для произрастания травянистой и древесно-кустарниковой растений.

## РАЗДЕЛ 5 СВОЙСТВА, ПОКАЗАТЕЛИ И РЕЖИМЫ СУЛЬФИДНОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ И ЭМБРИОЗЕМОВ

**Свойства свежееотсыпанной сульфидной горной шахтной породы.** Изучение свойств вынесенной на дневную поверхность породы показали, что она характеризуется бесструктурностью, распыленностью, высокой плотностью сложения, скелетностью и низкой пористостью (таблица 3).

Порода сильно-солонцеватая, бедна кальцием, имеет высокую концентрацию валовой серы (0,86%) (таблица 4). В незначительных количествах обнаружены экстрагируемый углерод (0,02%) и доступные для растений формы азота (следы) и фосфора (0,8 мг/кг).

Таблица 3 – Показатели физических свойств сульфидной шахтной породы

Слой, см	Скелетность, % от объема	Запасы мелкозема, т/га	Объемная масса, г/см <sup>3</sup>			Мелкозем		
			скелета	породы в целом	мелкозема	удельная масса, г/см <sup>3</sup>	общая порозность, %	воздухоём- кость при НВ, %
0–20*	50±5	1281±14	2,25	1,70	1,33	2,57	48±6	36±4
20–40	65±6	1206±20	2,24	1,70	1,47	2,55	47±8	35±5

\* n =5

Таблица 4 – Состав поглощенных оснований сульфидной горной шахтной породы (слой 0-30 см)

Обменные катионы, смоль(+)/кг				Сумма поглощенных оснований, смоль(+)/кг	Обменные катионы, % от суммы			
Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
3,20*	3,30	1,96	1,92	10,38	30,83	31,79	18,88	18,50

\* n =3

Наличие сульфидсодержащих компонентов в породе под воздействием биотических и абиотических факторов приводит к окислительным процессам с выделением тепла, газообразных веществ, а также к выделению серной кислоты. Всё это делает такой техногенный субстрат непригодным для заселения растительными сообществами на долгие годы.

### **Физические свойства горной породы и молодой почвы понижений**

За 25-летний период после отсыпки породы на вершину отвалов в пределах участка, в заросших травами понижениях за счет дополнительного привнесения мелкозема и влаги улучшились физические свойства мелкозема молодой почвы понижений. Об этом свидетельствуют следующие показатели физических свойств. По отношению к породе, произошло разуплотнение молодых почв и уменьшение содержания скелетных частиц (таблица 5), что позволяет классифицировать их как среднескелетные с достаточным количеством мелкозема.

Гранулометрический состав мелкозема молодых почв межбугорных понижений и контроле неоднороден (от легкоглинистого до среднесуглинистого). Молодые почвы по сравнению с контролем отличались большей илистостью и содержанием мелкой пыли, лучшей сбалансированностью песчаных, крупно- и среднепылеватых фракций в слое 0-40 см.

Таблица 5 – Физические свойства молодой почвы понижений и сульфидной горной породы

Почва, Порода	Слой, см	Скелет, % от объема	Запасы мелкозема, т/га	Объемная масса мелкозема, г/см <sup>3</sup>	Удельная масса, г/см <sup>3</sup>	Общая порозность мелкозема, %
Молодая почва n*=3	0–20	14	1802	1,05	2,48	58
	20–40	26	1758	1,19	2,58	54
	40–60	45	1547	1,32	2,50	49
	0–60	$\bar{x}^*=28\pm9$	$\Sigma^*=5103$		$\bar{x}=2,52$	$\bar{x}=54\pm2,6$
Сульфидная горная порода (контроль) n=2	0–20	58	1202	1,43	2,53	44
	20–40	64	1083	1,49	2,53	42
	0–40	$\bar{x}=61\pm5$	$\Sigma=2285$		$\bar{x}=2,53$	$\bar{x}=43\pm0,4$

\*  $\bar{x}$  – среднее арифметическое;  $\Sigma$  – сумма, n – количество разрезов.

**Химические и физико-химические свойства горной породы и молодой почвы понижений.** Нами установлено, что порода характеризуется низкими значениями рН водной и солевой вытяжки. При низком значении рН солевой вытяжки равном 4 и ниже, в породе накапливался подвижный алюминий в токсичных концентрациях. В понижениях концентрация подвижного  $Al^{3+}$  была в 5 раз ниже, чем в эмбриоземах и уменьшалась с глубиной. Алюминий наряду с поглощенным водородом обуславливает высокую обменную кислотность в породе, в молодых почвах понижений она была ниже.

Гидролитическая кислотность в сульфидной горной породе в несколько раз выше, чем в молодой почве. В молодой почве этот показатель уменьшается значительно с глубиной, что свидетельствует о замедлении процессов окисления.

Концентрация подвижных форм железа ( $Fe^{3+}$ ) в горной породе выше, чем в эмбриоземах, это связано с резкими различиями водного режима западин и возвышенностей (таблица 6).

Таблица 6 – Химический состав, физико-химические показатели молодой почвы и сульфидной горной породы

Местоположение разреза, число определений (n)	Слой, см	$\frac{pH_{H_2O}}{pH_{KCl}}$	S, % валовая сульфатная	Кислотность, смоль(+)/кг <u>гидролитическая</u> обменная	Подвижные формы мг/кг		
					$Al^{3+}$	$Fe^{3+}$	$Mn^{4+}$
Молодая почва межбугорных понижений, n=3	0-20	<u>5,31</u>	<u>0,14</u>	<u>4,16</u>	7	74	14
		4,50	0,07	0,44			
	20-40	<u>5,87</u>	<u>0,10</u>	<u>2,42</u>	4	64	32
5,09		0,03	0,16				
40-60	<u>6,95</u>	<u>0,15</u>	<u>1,12</u>	0,3	80	38	
	6,55	0,05	0				
Сульфидная порода на вершине бугров (контроль), n=2	0-20	<u>4,37</u>	<u>0,41</u>	<u>10,01</u>	36	100	17
		3,50	0,28	2,26			

**Агрехимические показатели горной породы и молодой почвы понижений.** По содержанию экстрагируемого углерода молодые почвы понижений относятся к слабогумусированным (таблица 7). Этот показатель в эмбриозёмах в 5 раз выше, чем в породе, что, по нашему мнению, является результатом почвообразовательного процесса.

Содержание гумуса, определенное по экстрагируемому углероду и выраженное в процентах, не отражает истинную гумусированность эмбриозёмов и пород в силу различных запасов мелкозема, вызванных различной скелетностью. Поэтому мы рассчитали запасы гумуса в мелкоземе молодых почв в тоннах на гектар. Если судить по запасам гумуса, то в межбугорных понижениях под растениями их в несколько раз больше, чем на контроле в том же слое (таблица 7).

Таблица 7 – Содержание общего и экстрагируемого углерода и запасы гумуса в молодой почве межбугорных понижений и в сульфидной горной породе

Местоположение разреза	Слой, см б т/га	Экстрагируемый углерод, %				Гумус: содержание, % запасы, т/га 2010-2012 гг.	Собщий, % 2010- 2012 гг.
		Годы исследований					
		1998- 2000	2003- 2005	2009	2010- 2012		
Межбугорное понижение n=14	0–20 1848	0,31	0,16	0,25	0,25	$\frac{0,43}{8,00}$	3,74
	20–40 1701	0,20	0,14	0,13	0,18	$\frac{0,31}{5,28}$	3,71
	40–60 1442	0,10	0,13	0,24	0,16	$\frac{0,27}{4,00}$	4,49
Вершина бугра n=9	0–20 1201	0,15	0,03	0,07	0,07	$\frac{0,12}{1,45}$	6,29
	20–40 1400	0,13	0,03	0,04	0,03	$\frac{0,05}{0,70}$	5,40
	40–60 1410	0,03	0,02	0,03	0,03	$\frac{0,05}{0,51}$	3,10

**Водный режим.** Изучение водного режима сульфидной горной породы и молодой почвы понижений показало, что запасы продуктивной влаги в корнеобитаемых слоях изменялись во времени в зависимости от количества осадков и гидротермических условий. Запасы продуктивной влаги в годы наблюдений были неудовлетворительными под всеми растениями (рисунок 3).

**Динамика подвижных форм основных питательных веществ.** Представление о питательном режиме молодой почвы дает изучение динамики содержания подвижных форм азота, фосфора и калия в корнеобитаемом слое растений на молодой почве понижений и сульфидной горной породе за все годы наблюдений (рисунок 4).

Содержание азота в молодой почве понижений определяет уровень ее формирования. Аккумуляция азота в горных породах является хорошим индикатором начавшегося процесса почвообразования, так как в горной породе азота практически нет.

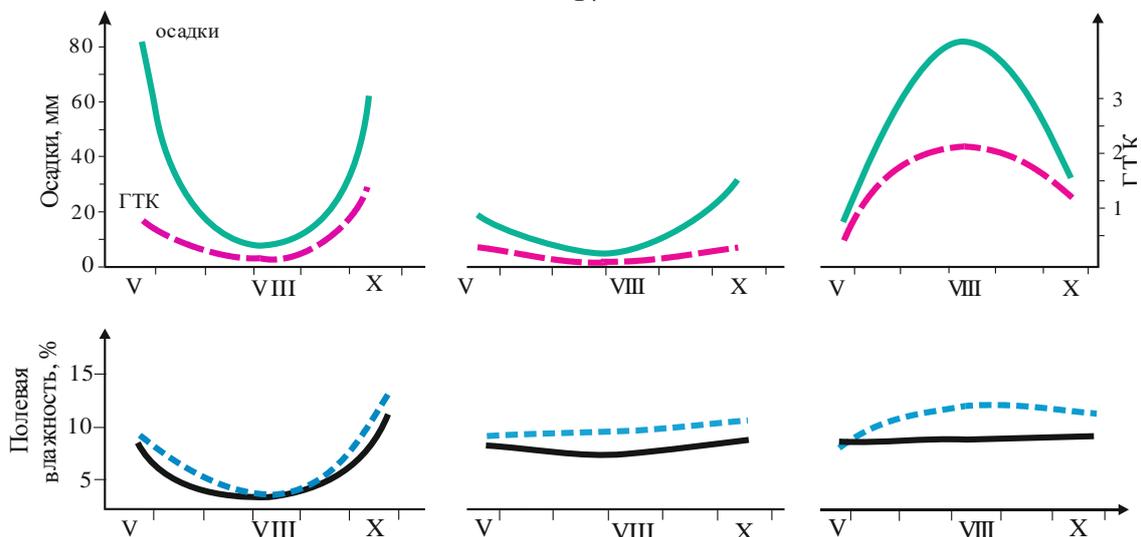


Рисунок 3 – Осадки, ГТК и полевая влажность сульфидной горной породы — и молодой почвы понижений ----

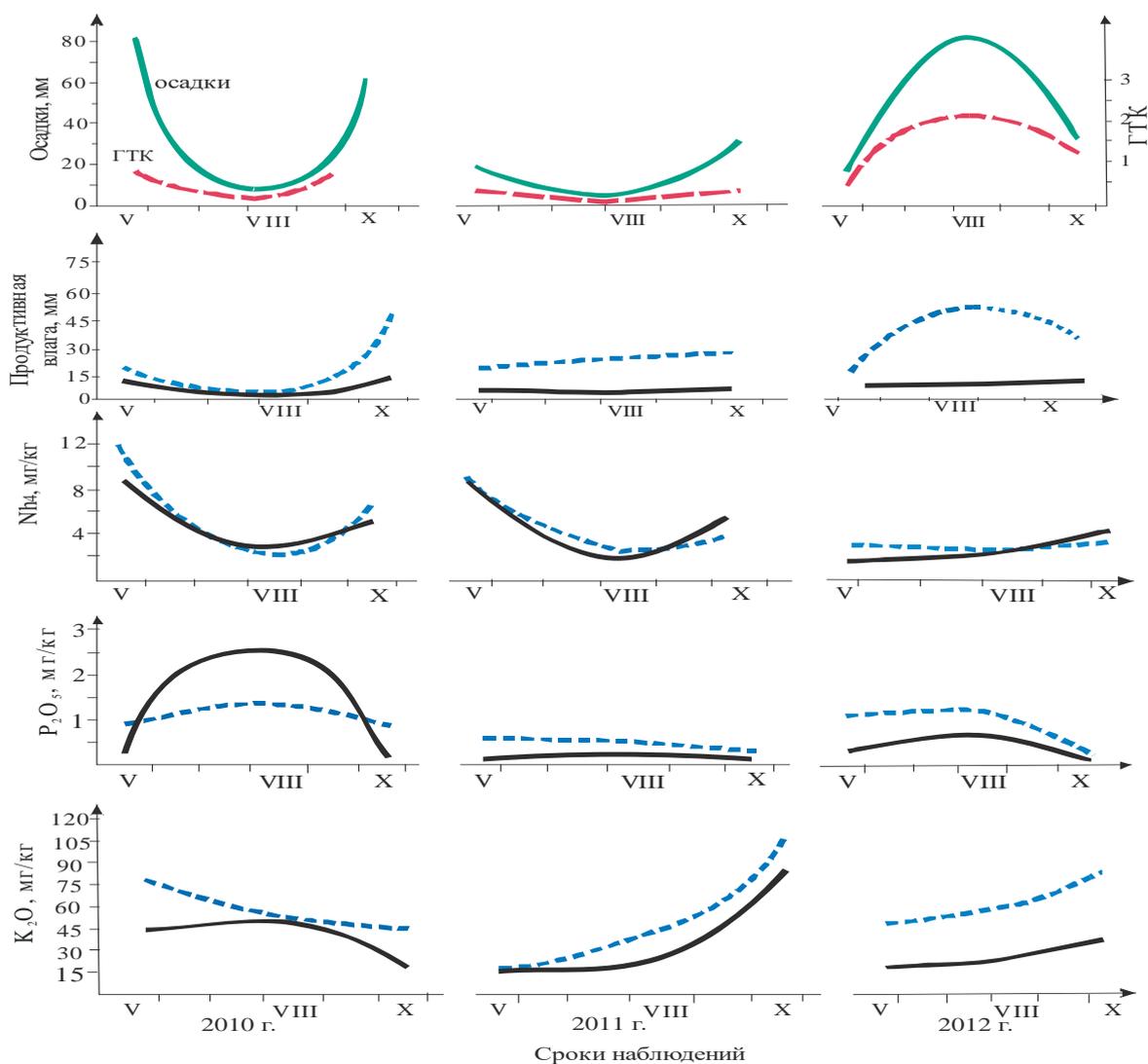


Рисунок 4 – Динамика осадков, ГТК, полевой влажности и подвижных форм N, P, K в слое 0-60 см сульфидной горной породы — и молодой почвы понижений ---- на шахте «Першотравнева»

Таким образом, динамикой накопления азота на начальных стадиях почвообразования и оценка его запасы свидетельствуют о потенциальном плодородии молодых почв понижений.

В молодой почве понижений и в сульфидной горной породе присутствовали как аммиачный, так и нитратный азот. Нитратного азота как в молодой почве понижений, так и в горной породе было незначительное количество, а порой он и вовсе отсутствовал. В молодой почве это, в первую очередь, связано с интенсивным его потреблением растениями.

Незначительное содержание нитратного азота в контроле связано с неблагоприятными физико-химическими свойствами самой породы. Так как накопление азота обусловлено жизнедеятельностью населяющих почву организмов, то основная часть азотсодержащих веществ оказывается в виде его органических соединений. Растения для своего роста и развития используют лишь азот, который в почве находится в минеральной форме.

Что же касается подвижного фосфора и обменного калия (рисунок 4), то по существующей в агрохимии шкале обеспеченности, почвы и породы характеризуются очень низкой степенью обеспеченности по подвижному фосфору и низкой – по обменному калию. Меньшую обеспеченность молодой почвы подвижным фосфором можно объяснить не только большей его адсорбцией растениями, но и большей вероятностью его связывания подвижным алюминием, концентрация которого в породе была ниже.

Таким образом, в молодой почве понижений содержится незначительное количество азота, но отмечается тенденция к его накоплению. Это зависит от действия азотфиксирующих микроорганизмов, физических и физико-химических и химических свойств эмбриоземов. Низкое содержание подвижного фосфора в молодых почвах можно объяснить не только адсорбцией растениями, но и вероятностью связывания подвижным алюминием. Вместе с тем, как показывают наши исследования (Опанасенко, Костенко, 2003; Новицкий, 2013), такие концентрации калия и фосфора обеспечивают достаточную продуктивность древесных и травянистых растений на молодых почвах понижений.

## **РАЗДЕЛ 6 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И КАРБОНАТНОГО СУГЛИНКА В ОПТИМИЗАЦИИ БИОЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СУЛЬФИДНЫХ ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ**

С целью выявления техногенных субстратов, ускоряющих процессы нейтрализации кислотности и способствующие улучшению свойств сульфидной породы при физико-химическом способе оптимизации отвалов изучены физических, физико-химических и химических свойств почв при внесении карбонатного суглинка (для устранения фитотоксичности породы) и плодородных мелиорантов (древесные опилки (ДО) и осадки хозяйственных стоков (ОХС) в сульфидную горную породу.

Отмечено, что внесение ДО улучшает ряд физических свойств субстрата по отношению к варианту с ОХС. Так, содержание илистых фракций в первом варианте было на 3% больше чем во втором, а содержание пыли средней,

дефляционно опасной было меньше на 2%, немного улучшилась плотность сложения мелкозема.

Улучшение физико-химических и химических свойств сульфидной породы за счет внесения техногенного субстрата с ДО и ОХС приведено в таблице 8. Так как, внесение ДО и ОХС, главным образом, предполагается для пополнения запасов органического вещества и основных элементов питания (N, P, K), то при сравнении двух вариантов по интенсивности накопления органического вещества видно, что вариант с ОХС проявил себя лучше.

Таблица 8 – Физико-химические и химические свойства мелкозема техногенных субстратов и сульфидной горной породы на участке шахтного отвала

№ разреза и, вариант опыта	Глубина, см	pH <sub>водн.</sub>	pH <sub>KCl</sub>	CaCO <sub>3</sub> , %	S валовая, %	Кислотность, смоль(+)/кг	
						Гидрол-ая	обменная
ГП (Контроль)	0–20	3,45	2,90	0	0,87	9,44	2,82
	20–50	4,10	3,32	0,20	0,21	6,54	1,15
ГП+КС+ДО	0–20	7,98	6,94	4,50	0,01	0	0
	20–40	7,94	7,22	1,52	0,26	0	0
	40–50	4,11	3,33	0,23	0,21	6,53	1,14
ГП+КС+ОХС	0–20	7,65	7,27	3,09	0,10	0	0
	20–40	7,26	7,10	2,11	0,61	0	0
	40–50	4,07	3,50	0,08	0,89	5,73	0,78

Содержание NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и K<sub>2</sub>O на разных вариантах существенно между собой не отличались (рисунок 5). Их незначительное количество можно объяснить интенсивным потреблением растениями в период вегетации. А вот по содержанию P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> вариант с ОХС показал себя лучше. Если сравнивать результаты в первый год наблюдений в этом варианте, то P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в среднем было 2 мг/кг, а на третий год его содержание увеличилось до 3 мг/кг, наблюдается тенденция к его увеличению и накоплению.

Древесно-кустарниковые растения являются хорошим индикатором, определяющим состояние техногенных субстратов. Высаженные на техногенных субстратах растения по-разному реагировали на эдафические условия. Изучение морфометрических параметров и декоративности растений свидетельствует, что *Gleditsia triacanthos* L и *Catalpa bignonioides* Walter оказались менее приспособленными к эдафическим условиям отвалов. Жизненное состояние *Symphoricarpos albus* (L.) S.F.Blake, *Elaeagnus commutata* Bernh. ex Rydb., *Catalpa bignonioides* Walter, *Spiraea vanhouttei* (Briot) Zabel, *Pyracantha crenulata* (Roxb. ex D.Don) M.Roem., *Pinus nigra subsp. Pallasiana* (Lamb.) Holmboe, *Acer platanoides* L. оценивается как хорошее и позволяет считать их наиболее перспективными для целей улучшения фитосанитарного состояния сульфидных шахтных отвалов.

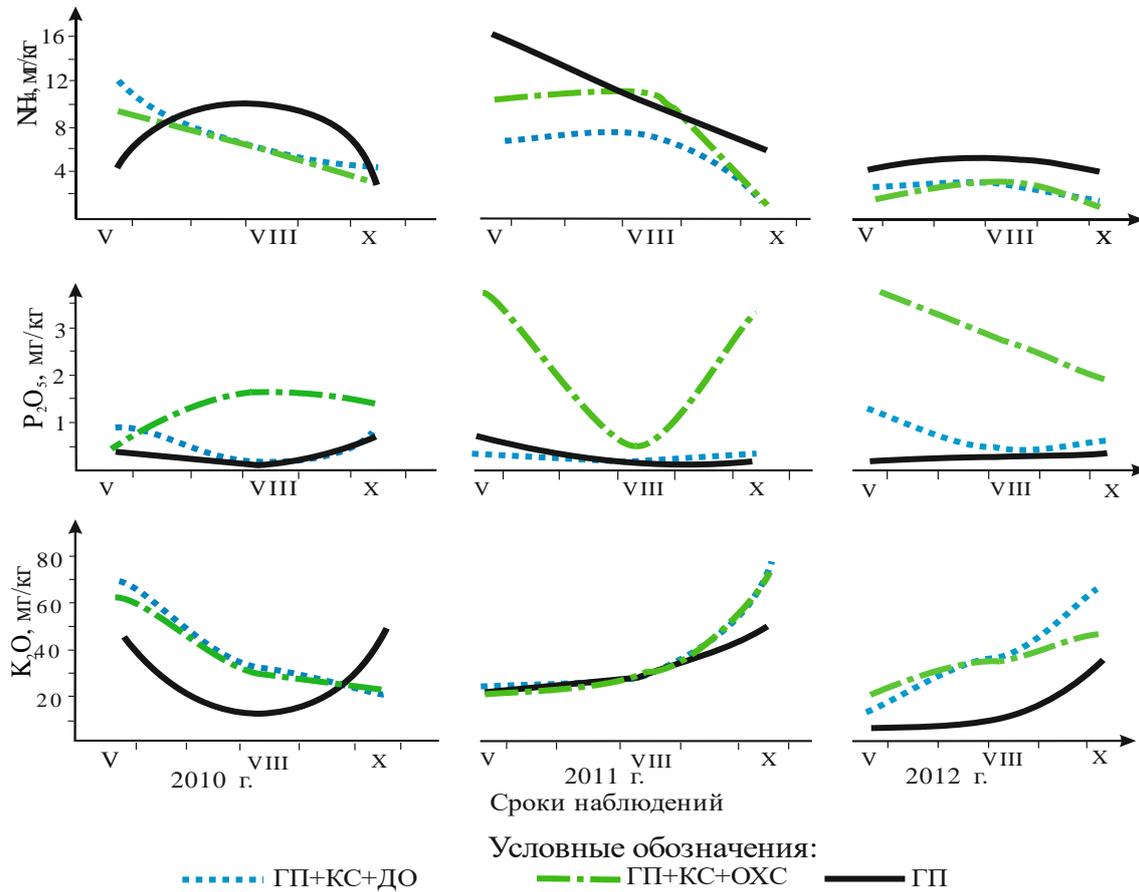


Рисунок 5 – Динамика основных питательных элементов в слое 0–60 см сульфидной породы и техногенных субстратов

Изучение свойств техногенных субстратов показало, что указанным видам растений для нормального роста и развития необходимо, чтобы субстрат обладал следующими свойствами в слое 0–50 см: был суглинистого гранулометрического состава, с плотностью сложения не более  $1,55 \text{ г/см}^3$ , запасами мелкозема не менее 5800 т/га и экстрагируемого углерода не менее 0,25%, рН водной суспензии не ниже 4 и не выше 8,6, обменная кислотность не менее 4,5 смоль (+)/кг. Эти показатели приняты нами за нижний предел плодородия техногенных субстратов и положены в основу оценки пригодности техногенных субстратов для конкретных древесных и кустарниковых насаждений.

Подводя итоги отметим, что сравнительное изучение свойств техногенных субстратов и особенностей развития древесно-кустарниковых растений на каждом из исследуемых вариантов, свидетельствует о перспективности применения варианта с карбонатным суглинком и ОХС для оптимизации шахтных отвалов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопряженные геоботанические и почвенно-геологические исследования показывают, что характер протекания прогрессивной сукцессии (самозарастания, саморекультивации) на отвалах сульфидсодержащей горной породы включает ряд стадий и этапов (Опанасенко и др., 2005) (таблица 9).

Таблица 9 – Ход естественных процессов зарастания отвалов

Стадия	Этап	Состояние элементов экосистемы	
		экотоп	биотоп
Пионерная	Геохимической дезинтеграции	Среда агрессивная, доступен для пионерных видов	Тионовые бактерии, первые высшие растения
Дифференциации и экологических ниш	Несбалансированного состава	Градиенты факторов среды сужены	Маловидовые сообщества
	Упорядоченного состава	Градиенты комфортны	Рудеральные сообщества
	Исключение конкуренцией	Градиенты факторов оптимальны	Формирование зонального сообщества
Климаксовая	1–4 этапы	Доступен всем видам	Зональные сообщества

В результате проведенных исследований показано, что создание бугристо-западного мезорельефа на вершине отвала сульфидных горных пород способствует интенсивному протеканию первичной автогенной сукцессии и формированию молодых почв.

Изучение динамики видового состава растительных сообществ, формирующихся в понижениях после оптимизации сульфидных отвалов методом создания бугристо-западного рельефа, свидетельствует, что количество видов сосудистых растений возрастает более чем в два раза. Так, на отвале через 10–12 лет после отсыпки отмечено 35 видов из 30 родов и 15 семейств, а через 23–25 лет – 70 видов растений из 64 родов и 23 семейств. Наибольшим количеством видов представлены семейства Asteraceae, Poaceae, Fabaceae (10–12 лет) и Asteraceae, Poaceae, Fabaceae, Rosaceae, Polygonaceae (20–25 лет). По типам корневой системы преобладают виды со стержневой системой (92% и 81% соответственно). На отвалах в возрасте 20–25 лет увеличивается доля видов с мочковатой корневой системой (с 8% до 19%).

Таким образом, характер протекания прогрессивной сукцессии на отвале через 10-12 лет соответствует первой или «пионерной» стадии второго этапа, а через 20-25 лет - второй стадии или стадии дифференциации экологических ниш и второму этапу – «упорядоченного состава».

Систематическая структура нативной части видового состава растительных сообществ отвала в целом соответствует зональному типу организации флоры, свойственной Присамарью. Географическая структура фитоценозов шахтных отвалов свидетельствует о том, что флороценогенез находится в начальной стадии сукцессионного процесса.

Оценка емкости местообитаний и плотности упаковки видов на градиентах факторов среды позволила установить, что лимитирующим фактором для развития растительных сообществ на сульфидных отвалах являются эдафические условия, такие как рН, гранулометрический состав и влажность почвы.

За 25-летний период после отсыпки породы на вершину сульфидного отвала в понижениях, заросших травами, за счет дополнительного привнесения мелкозема и влаги улучшились физические свойства мелкозема. Произошло разуплотнение молодой почвы до  $1,2 \text{ г/см}^3$  и уменьшение содержания скелетных частиц до 28% в слое 0–60 см по отношению к контролю (порода). Молодые почвы классифицируются как среднескелетные, и имеют достаточное для нормального роста деревьев и кустарников количество мелкозема – 5103 т/га. Почвы понижений по содержанию всех фракций гранулометрического состава в слое 0–40 см отличаются большей сбалансированностью, чем контроль.

Применение метода создания бугристо-западинного рельефа на сульфидном отвале способствовало снижению в эмбриоземах кислотности гидролитической до 4,2 смоль (+)/кг, обменной – до 0,4 смоль (+)/кг, а также снижению содержания подвижного алюминия до 7 мг/кг. Отмечено полное выщелачивание мелкозема от легкорастворимых, в том числе и токсичных солей и рассолонцевание верхнего слоя 0–60 см. Увеличилась поглотительная способность эмбриоземов и насыщенность их кальцием при снижении содержания обменного  $\text{Na}^+$ . По мере формирования молодых почв отмечено интенсивное накопление экстрагируемого углерода, содержание которого в 5 раз выше, чем на контроле. Молодая почва понижений по своим эдафическим свойствам стала пригодной для произрастания травянистых и древесно-кустарниковых растений.

Изучение основных морфометрических показателей, особенностей развития корневой системы и декоративности позволяет говорить о перспективности использования при создании искусственных фитоценозов на сульфидных отвалах следующих 14 видов древесно-кустарниковых растений: *Armeniaca vulgaris* Lam., *Pyrus communis* L., *Malus domestica* Borkh., *Quercus robur* L., *Tamarix tetrandra* Pall. ex M. Bieb., *Acer platanoides* L., *Sumphoricarpus albus* (L.), *Robinia pseudoacacia* L., *Fraxinus lanceolata* Borkh., *Syringa vulgaris* L., *Forsythia × intermedia* Zabel, *Gleditsia triacanthos* L., *Rosa canina* L. и *Elaeagnus angustifolia* L.

Установлено, что внесение в породу сульфидных отвалов техногенных субстратов (карбонатный суглинок + древесные опилки; карбонатный суглинок + осадки хозяйственных стоков) ускоряет формирование эмбриоземов, которое проявляется в изменении свойств (уменьшается количество скелета в 5 раз, плотность сложения – до  $1,3 \text{ г/см}^3$ , увеличивается порозность, рН изменяется с сильнокислого на слабощелочной, снижается количество подвижного алюминия, железа и марганца) и показателей породы (увеличивается содержание экстрагируемого углерода до 0,25% и N, P, K).

Изучение особенностей развития древесно-кустарниковых растений на техногенных субстратах показало, что для их нормального роста необходимо, чтобы техногенный субстрат обладал следующими свойствами в слое 0–50 см: гранулометрический состав должен быть суглинистым, плотность сложения не превышать  $1,55 \text{ г/см}^3$ , запасы мелкозема не менее 5800 т/га, содержание экстрагируемого углерода не менее 0,25%, рН водной суспензии не ниже 4 и не выше 8,6, обменная кислотность не менее 4,5 смоль(+)/кг.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ:*

1. Новицкий, М.Л. Водно-физические свойства эмбриозёмов в понижениях и сульфидной горной породы на отвалах шахт Западного Донбасса / **М.Л. Новицкий**, Ю.В. Плугатарь // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада, 2019. - № 131. – С. 9–15.
2. Новицкий, М.Л. Гранулометрический, микроагрегатный и структурный состав молодых почв на сульфидных шахтных отвалах / М.Л. Новицкий // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада, 2013. – № 109. – С. 55–64.
3. Kostenko I.V. Applying of bioassay to the assessment of sulfide mine wastes, substrates and young min soils toxicite evolution / I.V. Kostenko, N.E. Opanasenko, **M.L. Novicky** // Грунтознавство, 2012. - Т. 13, №3-4. С. 65-77.
4. Новицкий, М.Л. Структурно-агрегатный состав сульфидных пород и техногенных субстратов на шахтных отвалах / М.Л. Новицкий // Екологія та ноосферологія, 2013. - Т.24. №3-4. – С. 42–50.
5. Новицкий, М.Л. Физические свойства сульфидной горной породы и техногенных субстратов шахтных отвалов Западного Донбасса / М.Л. Новицкий // Агрохімія і ґрунтознавство, 2011. - № 76. - С. 118-121.
6. Новицкий, М.Л. Физико-химические и химические свойства сульфидной горной породы и молодой почвы шахтных отвалов Западного Донбасса / М.Л. Новицкий // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2014. - Вып. 111. - С. 63–67.
7. Новицкий, М. Л. О рельефо-формирующем способе рекультивации сульфидсодержащих отвалов шахт Западного Донбасса / М.Л. Новицкий // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада, 2014. - Вып. 113. - С. 71–77.

Научные результаты диссертации отражены так же в 15 научных статьях, материалах конференций, препринтах. Основные из них:

1. Плугатарь, Ю.В. Динамика сукцессионных процессов на сульфидсодержащих отвалах в результате их оптимизации / Ю.В. Плугатарь, В.В. Корженевский, Н.Е. Опанасенко, **М.Л. Новицкий** // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation, 2019. – № 1 (150). – С. 13-22.
2. Новицкий, М.Л. Почвообразование на сульфидсодержащих отвалах шахт Западного Донбасса и пригодность молодых почв для декоративных насаждений / М.Л. Новицкий // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства (Рязань, 9 декабря 2016). – Рязань, 2016. – С. 284–288.
3. Новицкий, М.Л. О физических свойствах сульфидных горных пород и техногенных субстратов шахтных отвалов / М.Л. Новицкий // Відновлення порушених природних екосистем : матеріали IV Міжнар. наук. конф. (м. Донецьк, 18–21 жовтня 2011 р.). – Донецьк, 2011. – С. 274–275.
4. Новицкий, М. Л. О сульфидных горных породах и молодых почвах шахтных отвалов / М.Л. Новицкий, Н.Е. Опанасенко // Агрохімія і ґрунтознавство. Спец. вып. до ІХ з'їзду УТГА. – Харків, 2014. – Кн. 3. – С. 55–56.
5. Новицкий, М. Л. Водные свойства сульфидных горных пород и техногенных субстратов шахтных отвалов Западного Донбасса / М.Л. Новицкий // Рекультивация складних техноекосистем в новому тисячолітті: ноосферний аспект. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Дніпропетровськ, 29-30 травня 2012). Дніпропетровськ: ДДАУ, 2012. - С. 183-184.
6. Опанасенко Н.Е. Об исходной пригодности техногенных почв на сульфидных шахтных отвалах под древесно-кустарниковые растения / Н.Е. Опанасенко, **М.Л. Новицкий**

// Відновлення порушених природних екосистем: Матеріали IV міжнар. наук. конф. (м. Донецьк, 18-21 жовтня 2011 р.). - Донецьк, 2011. – С. 285-286.

7. Опанасенко Н.Е. О молодых почвах межбугорных понижений на сульфидных шахтных отвалах / Н.Е. Опанасенко, **М.Л. Новицкий** // Відновлення порушених природних екосистем: Матеріали V міжнар. наук. конф. (м. Донецьк, 12-15 травня 2014 р.). - Донецьк, 2014. - С. 330.

8. Новицкий, М.Л. О химических свойствах сульфидных горных пород и техногенных субстратов шахтных отвалов / М.Л. Новицкий // Відновлення порушених природних екосистем: Матеріали V міжнар. наук. конф. (м. Донецьк, 12-15 травня 2014 р.). - Донецьк, 2014. – С. 328-329.

9. Новицкий, М.Л. О биологической рекультивации на сульфидсодержащих шахтных отвалах Западного Донбасса / М.Л. Новицкий // Экобиологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами. Материалы II-ой научно-практической конференции (г. Ялта-Севастополь, 28-30 сентября 2015 г.). - Севастополь, 2015. - С. 132-136.

10. Новицкий, М.Л. Агрохимические свойства сульфидной горной породы и молодой почвы понижений / М.Л. Новицкий // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: Материалы V Международной научной экологической конференции, посвящённой 95-летию Кубанского ГАУ (г. Краснодар, 28-30 марта 2017 г.). - Краснодар, 2017. - С. 705-707.

11. Новицкий, М.Л. Физические, физико-химические и агрохимические свойства горной породы и молодой почвы на отвалах с сульфидсодержащей породой // М.Л. Новицкий // Ломоносов 2015: Материалы XXII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (г. Москва, МГУ, 13-17 апреля 2015 г.) [http://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2015/data/section\\_21\\_7026.htm](http://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2015/data/section_21_7026.htm)

12. Опанасенко Н.Е. Почвенно-биологические исследования и способы рекультивации сульфидных горных пород шахтных отвалов для их озеленения // Н.Е. Опанасенко, **М.Л. Новицкий** // Почвы в биосфере: Материалы всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённая 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (г. Новосибирск, 10-14 октября 2018 г) Новосибирск, 2018. - С. 336-337.

13. Novicky, M.L. Some features of a young soil formation and anautogenic succession development on sulfide-containing mine dumps / M.L. Novicky, Yu.V. Plugatar // Геоботанічні, ґрунтові та екологічні дослідження лісових біогеоценозів степової зони: історія, сучасність, перспективи: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 90-річчю з дня народження чл.-кор. НАН України, д.б.н., професора А. П. Травлєєва (м. Дніпро, 11 вересня 2019 р.). – Дніпро: Ліра, 2019. - С. 117-119.