



**РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ
ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ**

Министерство аграрной политики и продовольствия Украины

Днепропетровская областная государственная администрация

Днепропетровский государственный аграрный университет

Орджоникидзевский горно-обогатительный комбинат

Верхнеднепровский горно-металлургический комбинат

Открытое акционерное общество “Павлоградуголь”

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

Под редакцией доктора биологических наук, профессора И. Х. Узбека,
кандидата сельскохозяйственных наук, профессора П. В. Волоха

Днепропетровск
Издательство «Свидлер А.Л.»

2011

2

УДК 631.618
ББК 40.6
Р 36

Рецензенты: член-корреспондент НАН Украины, доктор биологических наук, профессор А. П. Травлеев; член-корреспондент НАН Украины, доктор биологических наук, профессор А. З. Глухов

Утверждено к печати ученым советом Днепропетровского государственного аграрного университета (протокол № 6 от 31 марта 2011 г.)

Авторы: А. С. Кобец, И. Х. Узбек, П. В. Волох, А. Ю. Вилкул, А. А. Любович, А. А. Демидов, В. И. Дырда, Т. И. Галаган, Н. И. Жиленко, А. А. Мыцык, Н. В. Гончар, В. Н. Вернигора, М. Г. Бабенко, Ю. Д. Баранов, О. М. Лазников, С. П. Шуваев, Л. Н. Сорокина, С. Г. Котий

Р 36 Рекомендации по рекультивации техногенных ландшафтов / [Кобец А.С., Узбек И. Х., Волох П. В. и др.]; под ред. И. Х. Узбека, П. В. Волоха. – Днепропетровск : Издательство «Свидлер А.Л.», 2011. – 150 с., ил.

ISBN 978-966-8490-99-6

Рассмотрены современные представления об устойчивом развитии сложных техноэкосистем. Изложены теоретические и практические основы процесса формирования устойчивых агроэкосистем на различных вариантах антропогенно сконструированных эдафотопов.

УДК 631.618

Для технико-производственного персонала горнорудных предприятий, специалистов АПК, научных работников, аспирантов и студентов вузов.

ISBN 978-966-8490-99-6

Содержание

Предисловие	6
Введение	18
1. Современные аспекты устойчивого развития общества в контексте глобальной безопасности	21
1.1. Биотехно-ноосферная концепция В.И. Вернадского в контексте устойчивого развития	23
1.1.1. Биосферно-ноосферное учение В.И. Вернадского	27
1.1.2. Биосфера: живое и косное вещество	28
1.1.3. Научная мысль как проявление живого вещества	30
1.1.4. Переход биосферы в ноосферу	31
1.2. Современные понятия устойчивого развития	33
1.3. Факторы риска	36
1.3.1. Антропогенные факторы риска	36
1.3.2. Экологические факторы риска	37
1.3.3. Техногенные факторы риска	40
1.3.4. Некоторые принципы создания безопасных сложных технических систем	44
2. Рекультивация горнорудных техноэкосистем: эколого-социальная проблема	49
2.1. Современный техногенез и необходимость рекультивации	49
2.2. Черноземы Степи и Лесостепи Украины – условия селективной выемки и охраны при разработке полезных ископаемых открытым способом	52
2.3. Влияние технологии разработки месторождений на горнотехническую рекультивацию	59
2.4. Эколого-биологическая оценка степени пригодности вскрышных пород для рекультивации сложных техноэкосистем	61

2.4.1. Гранулометрический состав	61
2.4.2. Структура вскрышных пород и плодородного слоя почвы при рекультивации	63
2.4.3. Физические свойства техно- и литоземов и их изменение в период биологической рекультивации	65
2.4.4. Содержание гумуса и элементов питания в эдафотопях сложных биогеоценологических систем	67
2.4.5. Водно-солевой режим рекультивированных земель	74
2.4.6. Соленакпление в рекультивированных эдафотопях	75
3. Почвообразование на литоземах как показатель устойчивого развития сложных техноэкосистем	82
3.1. Фотоэлектрический эффект на литоземах	84
3.2. Каталитические процессы в литоземах	86
3.3. Азотфиксирующий эффект многолетних бобовых трав на литоземах	89
3.4. Биохимия углерода в литоземах	94
3.5. Энергетика современного почвообразования на рекультивированных литоземах	96
4. Технологии восстановления нарушенных земель. Модели антропогенных эдафотопов в техноэкосистемах	98
5. Основные рекомендации по биологической рекультивации нарушенных земель	106
Список литературы	137
Приложения	141

ПРЕДИСЛОВИЕ

*(История возникновения новой области знаний – рекультивация земель:
годы и факты)*

Terra incognita – Неведомая земля.

*Деятельность человека пуста и ничтожна,
когда не одушевлена идеею.*

Н. Г. Чернышевский

Среди густонаселенных областей степной зоны Украины Днепропетровщина выделяется высоким уровнем производства сельскохозяйственной и промышленной продукции. Именно здесь интенсивно развит горнодобывающий и металлургический комплекс. Добыча полезных ископаемых открытым (карьерным) способом неизбежно сопровождается разрушением самых богатых в Европе черноземов. И нет сомнения в том, что вредоносность таких процессов заключается не только и не столько в уменьшении количества пахотных земель, сколько в значительном ухудшении экологического состояния густонаселенного Приднепровья.

Поэтому еще в 1962 году были начаты первые в масштабах СССР научные поиски технологий восстановления нарушенных земель при открытой добыче марганцевых руд. Научным руководителем этих исследований был заведующий кафедрой почвоведения Днепропетровского сельскохозяйственного института (теперь государственного аграрного университета), доктор сельскохозяйственных наук, профессор Николай Емельянович Бекаревич. Первыми исполнителями этой сложной научной проблемы стали аспиранты кафедры почвоведения Николай Трофимович Масюк и Иван Харлампиевич Узбек.

Сначала были заложены пробные вегетационные опыты, а затем по расширенной программе проводились лабораторно-полевые и полевые исследования на отвалах Александровского карьера треста “Орджоникидземарганец”. В качестве тестов использовали 23 рода

сельскохозяйственных культур для определения возможности их возделывания на вскрышных породах.

В эту сложную научную работу был вовлечен многочисленный коллектив студентов агрономического факультета, которые по результатам проведенных исследований писали и защищали курсовые и дипломные работы. Среди них следует отметить И.К. Петуха (работник Днепропетровской областной государственной администрации), М.И. Щуклина (председатель колхоза), И.Г. Кириленко (вице-премьер министр Украины, профессор), А.И. Геллера (заведующий кафедрой агрохимии, доцент), В.И. Шемавнева (ректор ДГАУ, профессор), Н.Д. Горобца (доцент кафедры общего земледелия), Г.С. Скорохода (старший преподаватель кафедры общего земледелия), В.В. Трясака, В.П. Загубигорилку (председатель колхоза), А.А. Любовича (заместитель председателя Днепропетровской областной государственной администрации), Н.Г. Письменного, В.Г. Бардадыма (депутаты Днепропетровского областного совета), Л.И. Коряка (председатель колхоза), П.В. Волоха (профессор кафедры общего земледелия), В.И. Гуру, Г.В. Угарова (депутаты районных советов), А.И. Кожемяку, В.П. Кабаненка (доцент кафедры почвоведения, декан агрономического факультета), В.М. Верховского (депутат районного совета), В.А. Данько (председатель колхоза), С.П. Букина, Н.И. Цепкала (депутат Запорожского областного совета), Н.И. Жиленко (доцент кафедры общего земледелия), С.Ф. Петренко (заведующий Запорожским биостационаром), В.А. Забалуева (заведующий кафедрой почвоведения, профессор), В.В. Моргуна, А.А. Мыщыка (декан агрономического факультета, доцент кафедры почвоведения), В.В. Кулинича (заместитель начальника Днепропетровского областного управления земельных ресурсов), В.И. Пузя, И.М. Димитрова, В.В. Иотова (председатели колхозов), С.Н. Злыдаря, С.М. Безродного (кандидаты сельскохозяйственных наук, доценты) и много-много других выпускников аграрного университета. В настоящее время они сформировались как известные ученые, доктора и кандидаты наук, государственные деятели, известные стране руководители хозяйств и

учреждений. В те далекие годы на научных конференциях с огромным интересом слушали доклады, сообщения, предложения студентов, возникали горячие дискуссии, выкристаллизовывалась новая наука – наука о рекультивации земель.

Полученные результаты исследований позволили Н.Т. Масюку в 1968 году защитить кандидатскую диссертацию (г. Днепропетровск, ДНУ) “Изучение растительности, пород и образующихся почв на участках открытых разработок в Никопольском марганцеворудном бассейне (материалы к биологической рекультивации)”. Это был первый весомый научный труд по рекультивации земель в масштабах СССР, который указывал на возможные пути решения сложной общегосударственной проблемы. Диссертация получила множество положительных отзывов известных ученых великой державы.

В 1969 году защитил кандидатскую диссертацию по этой проблеме и И.Х. Узбек (г. Одесса, сельскохозяйственный институт). Тема работы – “Возделывание некоторых сельскохозяйственных культур на породах открытых разработок марганца в Никопольском районе Днепропетровской области”. Именно к защите этой диссертации были изданы и первые в СССР “Рекомендации по биологической рекультивации земель в Днепропетровской области”. Авторы работы – Н.Е. Бекаревич, Н.Т. Масюк, И.Х. Узбек и начальник Днепропетровского областного управления сельского хозяйства Н.И. Пистунов. Эти “Рекомендации ...” стали общепризнанными не только в пределах СССР, но и специалистами США, Канады, ФРГ, Польши, Англии, Чехословакии, Кубы и других государств; до сих пор используются горнорудными предприятиями при составлении проектов по рекультивации земель.

“Рекомендации ...” позволили совершенствовать в условиях степной зоны Украины технологию горных и отвальных работ Орджоникидзевскому горно-обогатительному, Вольногорскому горно-металлургическому, Камыш-Бурунскому и Криворожскому железорудным комбинатам, производственному объединению “Павлоградуголь” и другим предприятиям горнорудной

промышленности. Материалы “Рекомендаций ...” позволяли успешно осуществлять рекультивацию земель, значительно снижать расходы на проведение этих работ. Например, только в одной Днепропетровской области тогда были возвращены для дальнейшего использования в народном хозяйстве около 26 тыс. га нарушенных земель, в т.ч. 15 тыс. га пашни.

Результаты исследований Н.Т. Масюка и И.Х. Узбека послужили основой для издания первой в СССР монографии “О рекультивации земель в Степи Украины” (1971 г.), соавторами которой стали также Н.Е. Бекаревич, Н.Д. Горобец, А.А. Колбасин, Н.И. Пистунов и Л.П. Сидорович.

Сбор научного материала продолжался и в 1981 г. Н.Т. Масюк защитил докторскую диссертацию “Эколого-биологические основы сельскохозяйственной рекультивации техногенных ландшафтов степной зоны Украины”. В 2001 году защитил докторскую диссертацию И.Х. Узбек “Эколого-биологическая оценка эдафотопов техногенных ландшафтов степной зоны Украины”. Результаты исследований этих двух докторских диссертаций показали возможные пути и способы рекультивации техногенных ландшафтов. В них указаны виды растений, которые пригодны для возделывания на рекультивированных землях, разработана агротехника их выращивания, апробированы схемы фитомелиоративных севооборотов, рассмотрена стратегия повышения биогенности эдафотопов как средства восстановления плодородия нарушенных земель.

Докторская диссертация Н.Т. Масюка развивала эколого-генетическое направление науки по рекультивации нарушенных земель, а материалы докторской диссертации И.Х. Узбека раскрывали ее биологическое направление.

Весной 1969 года на рабочем совещании у директора треста “Орджоникидземаганец”, Героя Социалистического Труда, кандидата технических наук Григория Лукича Середы и главного инженера Сергея Васильевича Лесникова при участии профессора Н.Е. Бекаревича и доцентов Н.Т. Масюка, И.Х. Узбека и И.П. Чабана было принято решение о создании

природохозяйственной биоэкологической специализированной станции мониторинга техногенных ландшафтов степного Приднепровья на отвалах Запорожского карьера. Общая площадь ее составила свыше 100 га. Исследования с сельскохозяйственными культурами и фитомелиоративными многокомпонентными травосмесями проводились по расширенным схемам и вариантам рекультивации техногенных ландшафтов.

В апреле 1970 года доцентом Ильей Павловичем Чабаном были заложены первые в СССР сады на рекультивированных землях. Это позволило предложить новую модель и варианты рекультивированных земель под плодово-ягодные насаждения. Аналогичного учебно-опытного стационара на отвалах карьеров в производственной и научной практике нет до сих пор.

Результаты исследований ученых института по рекультивации нарушенных земель способствовали организации нового учебно-опытного стационара на отвалах карьеров Курской магнитной аномалии (Россия, 1970). Научные исследования здесь организовал и многие годы проводил выпускник агрономического факультета, старший преподаватель кафедры общего земледелия Георгий Семенович Скороход. Отметим, что на этом стационаре до сих пор ведут исследования профессора и доценты Воронежской государственной лесотехнической академии и Курской государственной сельскохозяйственной академии.

Еще в 1967 году И.Х. Узбек и Н.Д. Горобец при участии главного маркшейдера комбината В.И. Шубина организовали опытное поле на отвалах карьеров Черноморский-1 и Черноморский-2 Камыш-Бурунского железорудного комбината (г. Керчь), где провели исследования по определению влияния толщины черноземного покрытия на урожай озимой пшеницы. В масштабах СССР это были первые результаты изучения оптимальной толщины насыпной почвенной массы на техническую смесь горных пород. В 1971 году здесь была создана природохозяйственная биоэкологическая станция мониторинга техногенных ландшафтов Крымского полуострова, почвенно-климатические условия которого имеют свои

особенности. Заведующим станцией был назначен выпускник агрономического факультета Владимир Владимирович Моргун, который в 1988 году трагически погиб во время проведения полевых работ. Вместе с ним пути и способы восстановления плодородия нарушенных земель Крыма изучали Александр Александрович Мыщык и Виктор Васильевич Кулинич.

В 1972 году были исследованы отвалы карьеров и шламохранилищ Криворожского железорудного бассейна. Организационно-хозяйственные проблемы не позволили создать здесь стационар, но впоследствии исследования тут проводил Виктор Алексеевич Забалуев, который впервые разработал пути и способы освоения шламохранилищ. В этом же году при участии Евгения Николаевича Приходько был создан опытный участок по землеванию песчаных почв в Царичанском районе Днепропетровской области. К сожалению, отсутствие финансирования не позволило продолжить исследования по разработке мероприятий, способствующих повышению плодородия супесчаных почв.

Между тем исследовательская работа ученых института расширяла свои границы и в 1973 году на отвалах шахт объединения “Павлоградуголь” была создана биоэкологическая специализированная станция мониторинга нарушенных земель Западного Донбасса (г. Павлоград Днепропетровской области). От аграрного университета контроль за созданием стационара был возложен на выпускника агрономического факультета Виктора Алексеевича Данько. Уже исследования 1974 года показали специфические особенности шахтных пород и выявили способы их окультуривания путем внедрения биологических приемов рекультивации. В этом же году здесь под руководством И.П. Чабана был заложен сад, в котором впоследствии зацвели яблони, груши, сливы, черешни и другие плодово-ягодные культуры.

В 1974–1976 гг. на отвалах Малышевского месторождения полиметаллических руд (г. Вольногорск Днепропетровской области) выпускники агрономического факультета Михаил Николаевич Безродный и Петр Владимирович Волох создали учебно-опытный стационар по изучению

способов рекультивации нарушенных земель и их дальнейшего использования в сельскохозяйственном производстве. Результаты исследований на этом стационаре позволили подготовить и опубликовать в 1990 году “Рекомендации по рекультивации земель, нарушенных при добыче цветных металлов открытым способом”. Соавторами этой работы от института были доценты П.В. Волох, Н.Д. Горобец и И.Х. Узбек.

В 1976 году на Всесоюзной конференции АН СССР по рациональному использованию природных ресурсов (г. Москва) профессор Днепропетровского сельскохозяйственного института Н.Е. Бекаревич в своем докладе предложил ученым и государственным деятелям страны ввести в употребление слово “рекультивация”. Предложение было утверждено решением конференции, на которой от института присутствовали также А.А. Колбасин, Н.Т. Масюк и И.Х. Узбек, а от треста “Орджоникидземаганец” – Г.Л. Середа. Именно после работы конференции начали широко употреблять в материалах научных исследований и на государственном уровне слово “рекультивация”, под которым имели в виду восстановление плодородия нарушенных земель.

Результаты исследований, полученные учеными ДСХИ по рекультивации нарушенных земель, стали веским основанием для принятия специального решения Верховным Советом СССР (1979 г.) об открытии при Днепропетровском сельскохозяйственном институте единственной в стране Проблемной лаборатории по рекультивации земель (руководитель Александр Никитич Смирнов), которая существует до сих пор. В настоящее время руководит ею профессор П.В. Волох. В те времена лаборатория финансировалась отдельной статьей в бюджете СССР. Затем уже были заключены договора о творческом сотрудничестве ученых института с Министерством черной металлургии УССР и областным управлением сельского хозяйства. Научная тематика по проблеме “Рекультивация земель” щедро финансировалась и достигала многих сотен тысяч рублей. По всей стране регулярно проводились научно-практические конференции, симпозиумы, конгрессы, на которых ученые СССР обменивались опытом и

результатами своих исследований. Отметим, что ученые нашего института на собраниях любого уровня всегда были желанными участниками и докладчиками. Им было чем поделиться с участниками мероприятий, подискутировать и высказать свое авторитетное слово.

Так организовалась школа по рекультивации земель, которой руководил Н.Е. Бекаревич. Проблемами экономической оценки таких земель занимались профессор Алексей Иванович Кузнецов, доценты Виктор Яковлевич Олейник и Владимир Николаевич Двирнык во главе с ректором института профессором Александром Александровичем Колбасиным.

Основные результаты исследований научных работников кафедры почвоведения, общего земледелия и экономики сельского хозяйства представлялись на Международных выставках (г. Спокан, США, 1974; Будапешт, 1980); на ВДНХ СССР, где получили золотую, две серебряные и бронзовую медали (1974, 1976, 1978, 1989 гг.); демонстрировались и докладывались на Всесоюзных съездах общества почвоведов (Алма-Ата, 1970; Минск, 1977; Тбилиси, 1981; Днепропетровск, 1982; Ташкент, 1985; Харьков, 1986; Новосибирск, 1989; Львов, 1990); на съездах Украинского Товарищества Почвоведов и Агрохимиков (Харьков, 1990, 1994; Киев, 2006; Житомир, 2010); на Международных и отечественных конгрессах, симпозиумах и конференциях (Лейпциг, 1970; Бургас-Солнечный берег, 1973; Москва, 1974, 2011; Ленинград, 1975; Самарканд, 1976; Таллинн, 1978; Дьендьеш, 1978; Катовице-Забגיע-Коник, 1980; Днепропетровск, 1990, 1995, 2001–2010; Донецк, 1993, 2008, 2010; Херсон, 1993; Харьков, 1994, 2006; Кременчуг, 1996; Киев, 2000, 2003, 2008; Млиев, 2005; Ростов-на-Дону, 2005; Каменец-Подольский, 2007, 2010; Львов-Пожижевск, 2008; Воронеж, 2009); на ежегодных научно-практических конференциях Днепропетровского государственного аграрного университета, начиная с 1962 года и до сих пор.

Научные разработки ученых института по рекультивации нарушенных земель получили не только всесоюзную, но и всемирную известность. На Запорожскую биоэкологическую станцию мониторинга техногенных

ландшафтов приезжали и знакомились с результатами исследований руководители партии и правительства СССР, многих областей Украины, научные работники разных отраслей народного хозяйства, делегации из Америки, Канады, Англии, Чехословакии, Германии, Швеции, и других стран мира.

Днепропетровский аграрный университет, без преувеличения, стал планетарным центром распространения опыта восстановления плодородия земель, нарушенных горнорудными предприятиями.

О многовекторности исследований по рекультивации земель и весомости полученных результатов свидетельствует количество защищенных кандидатских и докторских диссертаций и их тематика: Галина Александровна Бондарь – “Растительный покров пород надугольной толщи Александрийского бурогоугольного месторождения и вопросы фиторекультивации” (1974 г.); Элеонора Леонидовна Додатко – “Состав, свойства и пригодность вскрышных пород бурогоугольных и марганцеворудных карьеров Украины для сельскохозяйственного использования” (1974 г.); Николай Данилович Горобец – “Исследования по сельскохозяйственной рекультивации территорий, нарушенных открытыми разработками марганца в Никопольском марганцеворудном бассейне” (1975 г.); Валентин Петрович Кабаненко – “Плодородие рекультивированных земель и пути его повышения (на примере Никопольского марганцеворудного бассейна)”, 1981 г.; Петр Владимирович Волох – “Рекультивация отработанных карьеров Малышевского месторождения полиметаллических руд с возделыванием на них сельскохозяйственных культур” (1985 г.); Виктор Алексеевич Забалуев – “Особенности сельскохозяйственного освоения серо-зеленых мергелистых глин в Никопольском марганцеворудном бассейне” (1992 г.) и “Эдафифитоценоотическое обоснование формирования и функционирования стойких агроэкосистем на рекультивированных землях Степи Украины” (докторская, 2005 г.); Николай Иванович Жиленко – “Продуктивность сельскохозяйственных культур на рекультивированных землях Западного

Донбасса” (1996 г.); Александр Александрович Мыщык – “Сельскохозяйственное использование рекультивированных земель Керченского железорудного месторождения” (1998 г.); Александр Григорьевич Тарика – “Агроэкологическое обоснование освоения и использование лессовидных суглинков при рекультивации земель в Никопольском марганцеворудном бассейне” (2006 г.); Татьяна Ивановна Галаган – “Экономические аспекты возобновления и организация использования рекультивированных земель в сельском хозяйстве” (2006 г.); Виктор Васильевич Кулинич – “Агроэкологическое обоснование сельскохозяйственного использования рекультивированных земель в условиях южной сухой степи Украины (на примере Камыш-Бурунского железорудного месторождения)”, 2007 г.; Наталия Викторовна Гончар – “Экологическая роль энзимов в искусственных эдафотопях Никопольского марганцеворудного бассейна” (2009 г.); Николай Николаевич Харитонов – “Агроэкологические основы возобновления техногенно нарушенных земель в горнодобывающих регионах Украины” (докторская, 2009 г.).

Исследования продолжаются. Сейчас по этой проблеме проводят изыскания 5 докторов наук, 12 кандидатов наук и около 30 преподавателей и научных сотрудников аграрного университета. В последнее время возглавляет работу ректор университета профессор Анатолий Степанович Кобец, который является соавтором недавно опубликованной монографии “Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкосистем” (2010 г.). В этой монографии приведены результаты 48-летних научных исследований по эколого-биологической оценке сложных техноэкосистем степного Приднепровья. Несомненно, ее материалы окажут существенную помощь специалистам горнорудного производства в дальнейшем совершенствовании технологии горных и отвальных работ и значительном снижении затрат на их проведение. Материалы книги могут использовать также аспиранты, студенты и ученые, которые занимаются вопросами экологии, охраны природы, почвоведения, лесомелиорации и др.

На основе многолетних исследований изучены состав и свойства эдафотопов, созданных из горных пород и дана им эколого-биологическая оценка; установлены виды растений, которые являются наиболее пригодными для возделывания на искусственных эдафотобах; усовершенствован метод отбора почвенных монолитов ризосферы; определены особенности строения и распространения в толще эдафотопов корневых систем растений; впервые разработана математическая модель расчета эколого-биологических характеристик корневых систем, что может быть основой для проектирования фитомелиоративных мероприятий; впервые обнаружена высокая экологическая пластичность корневых систем многолетних бобовых трав, что способствует их выживанию; впервые в условиях техногенной среды выявлен характер транслокационного процесса у высших растений; показана циклическая динамика общей численности микроорганизмов и отдельных их физиологических групп; определены эндодинамические особенности формирования комплекса почвенных микроорганизмов и их пул в верхнем слое эдафотопов; впервые раскрыта интенсивность разложения корней растений; обнаружен уровень ферментативной активности искусственных эдафотопов и впервые разработаны градации степени биогенности по активности гидролитических ферментов; доказана возможность использования особенностей развития корневых систем растений и почвенных микроорганизмов, а также активности ферментов в качестве объективных почвенно-диагностических признаков при эколого-биологической оценке эдафотопов; обнаружены консортивные связи в системе корни–эдафотоп–микроорганизмы; показана целесообразность создания высокопродуктивных рекультивированных почв, покрытых слоем чернозема, а также возможность конструирования эдафотопов без почвенного покрытия; определены функции корневых систем многолетних бобовых трав и почвенных микроорганизмов относительно биогеохимического круговорота элементов; впервые разработана стратегия повышения уровня биогенности эдафотопов техногенных ландшафтов на основе приоритетной роли биологического фактора

почвообразования; расширено понятие “агроэкосистема”; разработаны уникальные технологии рекультивации нарушенных земель, согласно которым на месте карьерных разработок воспроизводятся сельскохозяйственные угодья, рекреационные участки, создаются лесохозяйственные и заповедные зоны, проводятся санитарно-гигиенические мероприятия по консервации промышленных отходов.

Заслугой ученых Днепропетровского аграрного университета является и то, что именно они впервые в отечественной науке **открыли явление плодородия в осадочных нефитотоксичных горных породах**. Это является важным, принципиально новым научным открытием, на основании которого разработаны эффективные способы создания высокопродуктивных агроценозов на выровненных отвалах карьерных разработок и эродированных земель. Это обстоятельство позволило разработать эколого-биологическую классификацию растений, которая вошла отдельным разделом в учебники по геоботанике, почвоведению и земледелию.

Обнаружив эффект обогащения горных пород питательными веществами путем внедрения бобовых культурфитоценозов, была обоснована практическая целенаправленность фитомелиорации и определены перспективные модели рекультивированных почв с плодородием на уровне ненарушенных южных и обыкновенных черноземов.

По результатам многолетних исследований вопросов восстановления земель, нарушенных горнодобывающей промышленностью, научными работниками Днепропетровского аграрного университета опубликовано 5 монографий, трижды издавались рекомендации в различных направлениях проблемы и огромное количество научных статей в ведущих изданиях Украины и зарубежья.

Отметим, что исследования ученых Днепропетровского аграрного университета внедрены в учебный процесс многих высших учебных заведений Украины и стран СНГ. Они включены в рабочие программы дисциплин, которые рассматривают вопросы экологии, охраны природы, почвоведения,

рекультивации, лесомелиорации, экономики сельского и лесного хозяйств и другие.

Результаты исследований могут составить научную основу программ для региональных природохозяйственных и локальных биоэкологических специализированных станций мониторинга техногенных ландшафтов, а также создания рекультивированных земель целевого назначения.

Напомним, что земельный фонд Украины принадлежит к самым богатым в Европе. Это – достояние и благосостояние государства, его финансовая независимость. В сочетании с благоприятными климатическими условиями земли Украины способны обеспечить высокий уровень производства продукции растениеводства и животноводства. Поэтому рекультивированные земли следует рассматривать как важный резерв земельных ресурсов государства, который нуждается во всевозможных мелиорациях, охране и рачительном использовании.

ВВЕДЕНИЕ

*Нет ничего в мире сильнее
свободной научной мысли.
В. Вернадский*

Человечество перешагнуло порог третьего тысячелетия, и многие ученые анализируют итоги его деятельности, ищут эффективные пути дальнейшего развития. Что же определило существование человечества в последние столетия, и с чем мы перешли рубеж двух тысячелетий? Среди множества вопросов авторы рассмотрят лишь один, касающийся технократической деятельности человечества: безопасность сложных технических систем и проблемы устойчивого развития техносферы. Вопрос этот, несмотря на несомненную значимость, не получил должного освещения в литературе. Сведения о технократической деятельности человека носят разрозненный характер, не систематизированы и не рассмотрены в их глубоком и сложном взаимодействии. В проанализированных нами литературных источниках по экологии и экономике окружающей среды [1, 2] в большинстве случаев обсуждаются негативные последствия технократической деятельности человека: загрязнение окружающей среды, потери людей и техники, экологический ущерб и т.д. Заметим, что существование и эволюция сложных технических систем (СТС) характеризуются не только отрицательными показателями. СТС являются порождением человечества и составляют неотъемлемую часть его существования, часть так называемой техносферы.

Техносфера – это совокупность искусственных и природных объектов, созданных или измененных целенаправленной деятельностью человека.

Академик А.Е. Ферсман [3] в геохимии и классификации гипергенных процессов в биосфере определил девять понятий, в т.ч. механогенез, техногенез и биогенез. “Техногенез есть геохимическая деятельность промышленности человека” [3].

По мнению В.И. Вернадского [4], к началу XX века в ясной и реальной форме проявилась сила, “возможная для создания единства человечества”. Эта

сила, с одной стороны, выступает в форме логической обязательности и логической непрекаемости ее основных достижений, с другой – в форме вселенскости, то есть охвата ею всей биосферы, всего человечества, в создании новой ее стадии организованности – ноосферы, или сферы разума. Научная мысль, единая для всех, впервые выявляется как сила геологического характера, подготовленная всем ходом жизни в биосфере и создающая ноосферу. Человечество своей жизнью стало единым целым, и мы можем говорить о наступлении антропогенной эры. К основным видам производственной деятельности можно отнести агропромышленные комплексы, включающие в себя агроэкосистемы и технические сооружения, заводы, атомные и тепловые электростанции, транснациональные трубопроводы, современные горно-обогатительные комбинаты, занимающие нередко большие регионы, насыщенные городами с развитой коммуникативной инфраструктурой, фабриками, заводами, плотинами, водохранилищами, магистральными трубопроводами, электростанциями; разработку новых видов вооружения, освоение космического пространства и т.д.

Авторы будут оперировать такими понятиями, как опасность, безопасность, система, экосистема, агроэкосистема, биогеоценоз, ландшафт, устойчивое развитие, самоорганизация и т.д., затрагивая практически все виды человеческой деятельности – от технократических (технология, экономика, наука, развитие системы “человек–техносфера”) до нравственно-этических (демографические проблемы, религиозно-философский контекст и т.д.).

Рассматривая проблему устойчивого развития в целом, можно выделить следующие обобщающие положения:

- достижения фундаментальных наук существенно ускорили технический прогресс, изменили отношения человека и природы, изменили сам способ жизни человека;
- скорость создания человеком технических процессов значительно опережает рост нравственно-этических правил;

- смена нравственного императива наряду с другими причинами вызвана также императивом экологическим, нарушение которого может иметь для человечества катастрофические последствия.

Проблемы оптимизации окружающей среды всегда были чрезвычайно важными для промышленно развитых стран. Приднепровский регион с его мощнейшими комплексами горнодобывающей, металлургической и химической промышленности, а также превышающей экологическую целесообразность сельскохозяйственной освоенностью территории, безусловно, является наиболее ярким примером необходимости разработки и решения проблем оптимизации агроландшафтов, в том числе самых разнообразных аспектов, связанных с восстановлением территорий, утративших устойчивость и стабильность из-за нарушения структурно-функциональных связей биогеоценозов.

Проблеме восстановления и сельскохозяйственного использования территорий, нарушенных при открытой добыче полезных ископаемых, посвящены данные рекомендации. Проведенные исследования позволяют определить горнотехническим предприятиям приоритеты восстановления техносферы в контексте устойчивого развития.

1. СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*Люди погибли от неумения пользоваться
силами природы и от незнания истинного мира.
Иероглифическая надпись на пирамиде Хеопса*

Ниже рассматриваются некоторые важные вопросы триединства антропогенной системы “человек–среда обитания–техносфера” и антипод этой системы – триединство факторов риска: антропогенных, экологических и техногенных.

Исследуемая тема, несмотря на огромный публицистический материал и многочисленные международные научно-практические и политические конференции, к сожалению, не получила своего практического воплощения и для большинства читателей остается своего рода *terra incognita*. Поэтому авторы считают своевременным и необходимым изложить в сжатой форме свое отношение к затронутому вопросу.

Человечество в XXI веке переживает один из самых трагических моментов своей истории. Этот момент характеризуется условиями, совершенно отличными от всей предыдущей истории цивилизаций и прежде всего ускоренным индустриальным ростом регионов, варварской эксплуатацией природы и, как следствие, – экологические бедствия, высокая концентрация людей на ограниченных площадях, резкий рост природных и техногенных аварий и катастроф, невиданные эпидемии, голод, локальные войны. Безопасность человечества поставлена под сомнение. Издавна известны кризисы, вызываемые стихийными силами природы – землетрясения и наводнения, засухи и голод, эпидемии. Все это порождалось внешними причинами, силами природы, человек являлся лишь жертвой их, а не причиной. Современные кризисы являются результатом деятельности самого человека, результатом неконтролируемого взаимодействия с окружающей средой – это, так сказать, “антропогенные” кризисы.

Признаками экологического кризиса человечества являются изменение ландшафтов, общее потепление на планете, разрушение озонового слоя Земли, кислотные осадки, активизация Мирового океана, исчезновения видов и уменьшение биологического разнообразия.

По мнению В.И. Вернадского [4, 5], деятельность человека соизмерима с деятельностью природы, что подтверждают экологический, сырьевой и энергетический кризисы.

Тут возникают три глобальных вопроса.

1. Что является движущей силой в эволюции человечества на Земле?

2. Что представляет собой процесс развития биологической жизни на Земле? Мир был “заведен” ранее и ранее же установлен Порядок, и мы движемся к Хаосу, т.е. энтропия системы все время повышается, что собственно и соответствует второму закону термодинамики? Или же, как утверждают в последнее время биологи, жизнь на Земле развилась из примитивных форм и эволюционирует к высшим формам, порядок системы все время повышается, а мера беспорядка, т.е. энтропия, повышается лишь локально, и второй закон термодинамики не совсем применим к биологическим структурам.

3. Человек является царем Природы или только ее составной частью?

Получить однозначные ответы на эти извечные вопросы вряд ли возможно. Мы преследуем сугубо практические цели, сводящиеся в основном к перечню социальных законов и некоторых эмпирических правил безопасности, соблюдение которых обеспечило бы обществу устойчивое развитие.

Переход к устойчивому развитию общества должен обеспечить сбалансированное решение социально-экономических задач, проблем сохранения окружающей среды и природно-ресурсного потенциала в целях удовлетворения жизненных потребностей нынешнего и будущих поколений. Социально-экономический аспект требований к процессу устойчивого развития, выработанный Конференцией ООН [6], предопределяет реализацию в глобальном масштабе комплекса мер, направленных на сохранение жизни и

здоровья человека, борьбу с преступностью и нищетой, изменение структуры потребления, регулирование роста населения, содействие устойчивому развитию регионов, международное сотрудничество, учет экологических требований при принятии решений.

Экологический аспект устойчивого развития предполагает сохранение окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов – охрану экосферы, сохранение биологического разнообразия, безопасное использование биотехнологий, решение проблемы отходов.

Именно человек является основным виновником негативных изменений окружающей среды. Человек представляет лишь один из 10 млн биологических видов, обитающих на Земле, однако он потребляет около трети мировых запасов пресной воды и расходует примерно половину общего объема продукции фотосинтеза, вырабатываемой на суше. Будучи господствующим видом на земле, человек должен нести полную моральную ответственность за окружающую среду и за все негативные процессы, происходящие в ней, в том числе и происходящие по его вине.

И здесь опять следует признать, что мысли эти далеко не оригинальны, и во все времена цивилизации возникала идея об ответственности человека за все, что совершается в мире.

1.1. Биотехно-ноосферная концепция В.И. Вернадского в контексте устойчивого развития

В тридцатых годах прошлого века В.И. Вернадский [4, 5] в логически ясной форме изложил свое биосферно-ноосферное учение и показал, что основной силой, преобразующей биосферу и создающей новые организационные формы существования жизни на Земле, является организующая геохимическая роль живого вещества, ответственность человечества за преобразование биосферы. Все изменения географической оболочки Земли осуществляется не ничтожно малой массой человечества, а

мыслью, коллективным разумом (за Н.Н. Моисеевым). “Мне ясно, что в природе все не может быть сведено к энергии и материи. Как подвести к этим понятиям воздействие человека на геохимические процессы?” – писал В.И. Вернадский [5].

Мощное преобразующее влияние человека на биосферу стало сказываться только в последнее время, в начале XX века, но ход этого влияния был подготовлен миллиардами лет существования биосферы. Рассмотрим кратко эту часть общего мировоззрения В.И. Вернадского, выделяя те составляющие, которые непосредственно относятся к современному пониманию устойчивого развития и роли в нем человека, и прежде всего на проблемах науки и ее влиянии на человека. Наука играет доминирующую роль в создании современной мировой истории; ее многовекторное проявление во всех сферах бытия, её всеобщность и существование во многих формах – явление не только положительное для человечества. Разрушительные импульсы научных достижений нередко являются отрицательными и вызывают деградиационные процессы в обществе. Именно благодаря науке человек построил техносферу, которая вытесняет мир Природы; именно благодаря науке человек создал феномен демонизма техники; именно благодаря науке у человечества имеются разрушительные средства, способные уничтожить жизнь на Земле.

Безусловно, все это является порождением не только последнего, уже ушедшего от нас столетия; корни этого явления уходят вглубь веков. Изначально человек существовал в сложном, нелинейном, многопараметрическом и стохастическом мире, в некотором быстро изменяющемся пространственно-временном континууме, который условно можно подразделить на три мира: мир Природы, соматической частью которого и является человек; мир техносферы; и, наконец, внутренний мир человека, т.е. мир состояния его души – мир веры, иллюзий, мечтаний, желаний и т.д. Эти три мира существовали и ранее, однако в последнее время существенно изменились акценты. Человек все далее отходит от Природы, игнорирует ее

законы и постепенно замыкается в искусственном мире техносферы, а бесконечно богатый мир души подменяет искусственным, им же созданным виртуальным миром. И в этой подмене наука играет доминирующую роль. Информационная революция, контуры которой пока совершенно не очерчены, особенно в смысле ее влияния на человека и человечество в целом, уже сейчас сказывается не только положительно.

Все это вместе и послужило причиной той экологической катастрофы, границы которой отчетливо проявились в конце прошлого века. Если не касаться разночтения, имеющегося у ученых различных специальностей, и несогласованности в терминологии, то современное состояние взаимоотношений человека и Природы выглядит следующим образом.

1. Человечество стоит на пороге экологической или, как ее еще называют, антропогенной катастрофы, предвестником которой являются загрязнение биосферы, варварская эксплуатация природы, сокращение биоразнообразия, неконтролируемый рост населения, деформация социальной среды и т.д.

2. Антропогенное давление на биосферу увеличивается с небывалой скоростью: техногенные мощности удваиваются каждые 5–10 лет и адекватно этому растет степень загрязнения биосферы; человечество перешагнуло границу 6 млрд, прирост составляет около 100 млн человек в год; наблюдается феномен замкнутого круга – рост численности населения обуславливает экономический прогресс, а это, в свою очередь, стимулирует рост населения.

3. Человечество построило техносферу и рассматривает Природу как человеческий конструкт, как сырьевой придаток для развития техники, причем потребности техники очень часто становятся выше потребностей человека. В этом синтетическом мире техника перестает быть только партнером человека: многие ученые высказывают мысль о “биологическом несовершенстве человека” и о создании на первом этапе некоторого симбиоза человека и машины.

4. Достижения науки всеобъемлющи и бесспорны; именно они стали определять мировую историю: скорость исторических событий возросла

невероятно, объем знаний стал удваиваться каждые пять лет, во второй половине XX века человечество получило 90 % всех знаний. Вместе с тем, научное решение проблем носит фрагментарный характер, нет цельности и глобальности, и поэтому при решении сложнейших задач взаимодействия “человек–природа” знаний оказалось совершенно недостаточно. Ни наука, ни философия не сумели даже в малейшей степени повлиять на самосознание человека, поскольку за последнее тысячелетие человек нравственно лучше не стал.

5. За последнее тысячелетие мировая история не наблюдает существенных изменений: голод, болезни, войны, преступность не ликвидированы; наука часто решает проблемы, ею же порожденные; слово (логос) обесценилось и часто подменяется жаргоном; преобладающими стали выгода и эгоизм, а понятия сострадания, сопереживания, братской любви извращены и подменяются такими понятиями, как “цивилизованное общество” и “цивилизованные отношения”; виртуальный мир вытесняет мир реальный; христианские добродетели заменила сексуальная революция; человеческая жизнь обесценилась; повсеместно наблюдается низкий уровень экологической культуры, как в сфере массового сознания, так и среди представителей политического истеблишмента.

6. Все это вместе позволило многим ученым серьезно говорить об антропогенной катастрофе, о признаках апокалипсичности, т.е. конце истории; со ссылкой на второе начало термодинамики высказывается неизбежность гибели человечества или его части в результате роста энтропии. Предлагаются и рецепты выхода из кризиса: экологическое образование; сокращение антропогенного давления на биосферу для достижения некоторого “экологического равновесия”; контролируемое развитие техники и переход на безотходные технологии; жесткая система правового и экономического регулирования; формирование стратегии во взаимоотношении Природы и человека (так называемая коэволюция) и создание на Земле такого общественного порядка, который был бы способен реализовать эту стратегию.

7. “Неравновесная термодинамика”, “третья форма законов природы”, “хаотическое состояние”, “активные среды” [7, 8], а также универсальность закономерностей самоорганизации устраняют идею глобального уничтожения Природы цивилизацией и ограниченности нашей Вселенной, Солнечной системы. Лауреат Нобелевской премии И.Р. Пригожин указывает, что в биосфере наблюдается “...необычайное разнообразие, которое являет нам природа, – от равновесных систем ... до высокоорганизованных неравновесных систем ...” [8]. При отклонении системы от равновесия она может пройти несколько зон неустойчивости – от порядка к хаосу или наоборот. Это значит, что оба состояния системы непредсказуемы.

Однако если закон сохранения допускает некоторое множество процессов, то при самоорганизации системы реализуется такое, которое отвечает минимуму диссипации энергии (или минимуму роста энтропии). Каждая неравномерная система характеризуется определенной структурой, которую она реализует в процессе самоорганизации. Развитие системы может происходить по разным направлениям и с неодинаковой скоростью. Для таких процессов характерны пики обострения, которые могут приобретать взрывной характер. Сегодня человечество озабочено экологическими проблемами.

1.1.1. Биосферно-ноосферное учение В.И. Вернадского

В середине прошлого века В.И. Вернадский [5] опубликовал свою концепцию эволюции биосферы Земли как единого космического, геологического и антропогенного процессов. В этой концепции он изложил и развил понятия о живом веществе и косной материи, о роли человечества в развитии биосферы, о мировом значении научной мысли как планетного явления и о неизбежности превращения биосферы в ноосферу (от греческого слова “ноос” – разум).

Сам В.И. Вернадский в рабочих научных гипотезах о неизбежности превращения биосферы в ноосферу утверждает, что человечеству еще далеко

до универсальной системы сферы разума природного, общественного и космического. “Картина мира, сведенная к энергии и материи, если мы попытаемся сейчас на нее взглянуть без предубеждения, явно не отвечает действительности”, – писал в середине прошлого века В.И. Вернадский [5].

В настоящее время человечество посредством технократической цивилизации не приближается к ноосфере, а отдаляется от нее (в экологической проблематике со значительной скоростью).

1.1.2. Биосфера: живое и косное вещество

Рассматривая в строении биосферы ее физико-химическую и геометрическую разнородность, В.И. Вернадский [5] отмечает, что биосфера состоит из живого вещества и вещества косного, которые на протяжении всего геологического времени резко отличаются своим генезисом и своим строением. В.И. Вернадский сделал обобщения в этом смысле.

1. Живое вещество охватывает всю биосферу, но по весу оно составляет 0,25 %; вместе с тем, геологически оно является самой большой силой в биосфере, развивает огромную свободную энергию и определяет все идущие в ней процессы; живое вещество обладает особой организованностью и может рассматриваться как функция биосферы.

2. Косное вещество – твердые горные породы, газы, морская вода и т.д. – преобладает и по весу, и по объему.

3. Биосфера имеет обособленные размеры; между живым и косным веществом идет непрерывный материальный и энергетический (а в последнее время имеются предпосылки считать, что и информационный) обмен, который непрерывно стремится к равновесию.

4. Процессы, происходящие в живом и косном веществе, резко различаются как по времени, так и в пространственном отношении. В живом веществе они идут в масштабе исторического времени, в косном – в масштабе геологического времени (тысяча лет исторического времени соответствует

примерно 300 млн лет геологического времени). Отличие живого вещества от косного связано также с особыми свойствами пространства, занятого живыми организмами, с особой его геометрической структурой. Луи Пастер в 1862 году отмечал это явление при изучении неравенства левых и правых явлений в организме [9]. Геометрически правизна и левизна в пространстве могут наблюдаться только в тех случаях, когда векторы полярны и энантиоморфны. В.И. Вернадский высказал мнение о том, что именно с этим геометрическим свойством связано отсутствие прямых линий и наличие кривизны форм во всех существующих живых организмах, что пространство внутри их не отвечает пространству Эвклида, а соответствует одной из форм пространства Римана. Он также допускал мысль, что пространство живого вещества проявляет геометрические свойства, отвечающие всем трем формам геометрии – Эвклида, Лобачевского и Римана.

Из принципа Пастера-Кюри следует важный принцип Реди, отражающий регулирование создания организмов в биосфере. Между прочим, В.И. Вернадский высказал интересное (прежде всего для механиков) обобщение, что ход научной мысли при создании машин и механизмов аналогичен процессу размножения организмов.

5. Подводя итоги изучения различия между живым и косным веществом, В.И. Вернадский делает весьма важные выводы для нашего понимания сущности устойчивого развития:

- “все живое вещество рождается из живого вещества”; следует учесть, что это написано в 1937 году, когда мнение Энгельса (из неживого может рождаться живое) господствовало безраздельно;
- эволюционный процесс присущ только живому веществу, в косном веществе он не наблюдается;
- для живых организмов силы тяготения не являются господствующими;

- для косного вещества нет необратимости, все процессы обратимы в то время как пространство в живых организмах характеризуется полярными векторами – направление их не меняется;
- отличие живого вещества от косного проявляется прежде всего в существовании двух важных процессов: во-первых, в ходе геологического времени растет мощность выявления живого вещества в биосфере и увеличивается степень его воздействия на косное вещество; во-вторых, наблюдается эволюция видов, т.е. резкое изменение живых организмов во времени;
- пространство жизни иное, чем пространство косной материи; различие между ними так велико, что переход одного вещества в другое в земных процессах нигде не наблюдается;
- и еще одно важное обобщение: площадь заселения живыми организмами ограничена; отсюда следует существование некоторого предела концентрации живого вещества.

По мнению В.И. Вернадского [5], биосфера есть сложное биокосное природное тело, которое отличается разнородностью строения, т.е. резким различием вещества и энергетики в форме живых и косных тел. Человек является неизбежным проявлением природного процесса, длящегося примерно два миллиарда лет. Он, как часть живого вещества, не является самодовлеющим, независимым от окружающей среды; он часть биосферы, функция биосферы в определенном ее пространстве – времени; мыслить и действовать человек может только в биосфере, уйти из которой он не может. Мозг человека со временем становится более совершенным (энцефалоз Д. Дана); процесс этот никогда не идет вспять.

1.1.3. Научная мысль как проявление живого вещества

В начале прошлого века, утверждал В.И. Вернадский, впервые в истории человечества в ясной и реальной форме проявилась геологическая сила –

научная мысль, – подготовленная миллиардами лет существования биосферы и являющаяся функцией живого вещества [5]. Научная мысль является той силой, с помощью которой человек изменяет биосферу; это изменение происходит независимо от человеческой воли, стихийно, как природный естественный процесс. Научная мысль проявляется в форме вселенскости – охвата ею всей биосферы, всего человечества, в создании новой стадии ее организованности – ноосферы. Она проявляется в форме логической обязательности и логической непререкаемости ее основных достижений. Она не приводит к результатам, противоречащим тому основному процессу, созданием которого она является. По существу, научная мысль, как проявление живого вещества, обладает свойствами направленности и необратимости.

В контексте этих рассуждений, В.И. Вернадский поставил интересный вопрос: “Мысль не есть форма энергии. Как же может она изменять природные процессы?” [5].

Новым свойством материального мира, которое воздействует на вещественную составляющую, является утверждение, что мысль материальна (А. Лотка) и существует некое информационное поле, информационные геоактивные структуры, вертикальные или субвертикальные каналы, которые влияют на географические, геохимические и биогеохимические процессы. Об этом свидетельствуют опыты, в которых удалось экспериментально зафиксировать изменение структуры воды как реакцию на положительное (любовь, доброта) и отрицательное (зло, ненависть) слово.

Нобелевский лауреат А. Сент-Дьердьи отмечал, что приблизится к познанию характеристик живых систем мы сможем только в том случае, если примем во внимание свойства коллективного взаимодействия молекул, поймем законы их кооперативного поведения.

1.1.4. Переход биосферы в ноосферу

Эволюция биосферы, считает В.И. Вернадский, непосредственно связана с усилением эволюционного процесса живого вещества. Он выдвигает как эмпирическое обобщение следующий тезис: “... мы должны отметить и учитывать, что процесс эволюции биосферы, переход ее в ноосферу явно проявляют ускорение темпа геологических процессов. Тех изменений, которые проявляются сейчас в биосфере в течение (последних) немногих тысяч лет, в связи с ростом научной мысли и социальной деятельности человечества, не было в биосфере раньше” [5]. Человечество становится мощной силой, способной в своих интересах перестроить биосферу.

Переход биосферы в ноосферу является природным явлением, более глубоким и мощным, чем человеческая история. Он отвечает биологическому единству и равенству всех людей и требует проявления человечества как единого целого не только в аспекте личности и государства, но и в планетном масштабе. Человечество как живое вещество становится единым целым, с единым информационным пространством, т.е. становится функцией биосферы в определенном ее пространстве – времени.

В рассматриваемом направлении важным является утверждение В.И. Вернадского о том, что ноосфера – последнее из многих состояний эволюции биосферы, а основной геологической силой, создающей ноосферу, является рост научного знания. Процесс этот непрерывный и необратимый, и в общих случаях независимый от человека.

В биосферно-ноосферном мировоззрении В.И. Вернадского можно выделить, по крайней мере, три обобщающих положения, крайне важных для понимания роли человека, роли науки и научного знания в общей концепции устойчивого развития:

- человечество является важнейшей силой, определяющей все процессы, протекающие в биосфере; эволюция биосферы выделила человека как важнейшую силу, преобразующую биосферу “в интересах свободно мыслящего человечества, как единого целого”; вместе с тем, доля человечества в живом веществе Земли не может возрасти

бесконечно, существует некоторый критический предел, после которого может включиться механизм самоистребления;

- человечество должно стать и уже сейчас становится пространственно распределенным надорганизмом, обладающим единым информационным полем, существующим в едином пространственно-временном континууме и управляемым в общем случае едиными биологическими и общественными законами;
- основной движущей силой эволюции человечества и, следовательно, основным показателем биосферы и ее более организованной формы – ноосферы является рост научного знания, что, по сути, устанавливает примат человеческого разума в формировании мировой истории и перестройке биосферы.

1.2. Современные понятия устойчивого развития

На сегодняшний день становится очевидным, что вмешательство человека в Природу приблизилось к тому моменту, когда масса вещества и количество энергии, вовлекаемые в технократический оборот, становятся соизмеримыми с массой биологического вещества Земли. В этом случае биосфера как устойчивая структура активно взаимодействует с техносферой – структурой неустойчивой и постоянно растущей. Такое взаимодействие с точки зрения теории катастроф должно привести к некоторой бифуркации, которая может протекать двумя путями.

В первом случае может произойти жесткая потеря устойчивости системы, что приведет обе структуры к разрушению.

Второй случай предусматривает мягкую потерю устойчивости, которая будет сопровождаться локальными катастрофами, в результате чего возникнет новая структура, развивающаяся по своим, отличным от предыдущих законам.

Возможен и особый путь развития, высказанный в свое время В.И. Вернадским. Этот путь предусматривает переход биосферы в новое

качественное состояние – ноосферу, когда мозг всего человечества станет мозгом трансформированной в ноосферу биосферы и произойдет некоторый созидательный скачок.

Именно с этих позиций в последнее время и рассматривается технический прогресс и его последствия для существования человечества на Земле. Эти позиции требуют комплексного исследования взаимоотношений человека с биосферой с учетом основных составляющих – технократической деятельности человека, экологических последствий этой деятельности, природных и техногенных аварий и катастроф, сопровождающих эволюцию человечества, и других явлений во всем их сложном коллективно-функциональном взаимодействии.

Здесь следует отметить, что господствующая в XX веке материалистическая модель мира, на первый взгляд строгая и рациональная, но практически не включающая в себя психофизическое звено, т.е. Человека, оказалась несостоятельной при объяснении многих феноменов. Вот почему в третьем тысячелетии человечество все чаще оглядывается назад в поисках более фундаментальных положений, объясняющих единство природы и человека. Еще в первом столетии до нашей эры Тит Лукреций Кар в своем классическом произведении “О природе вещей” рассматривал землю как “великую мать богов, животного мира и человечества”. Философ и поэт Григорий Сковорода в произведении “Діалог, або розмова про давній світ” говорил о единстве мира и человека: “А як у Бозі немає поділу, а є він єдністю, що простягається по всіх віках, місцях і створіннях, так Бог, і світ його, і чоловік його є єдиним”.

Это единство системы “природа–человек” в XIX веке получило развитие в философии всеединства В. Соловьева, С. Булгакова, П. Флоренского и других представителей русского космизма, рассматривающего природу и человека как взаимовлияющие части некоего единого целого, Космоса и Универсума.

Ж.-Б. Ламарк, Тейяр де Шарден, позже В.И. Вернадский научно обосновали и развили теорию биосферы и ее взаимосвязь с антропосферой.

Акцентируя внимание, прежде всего, на факторах риска, выделим основные составляющие этой теории.

Из обсуждаемой выше концепции В.И. Вернадского можно выделить следующие три обобщающих положения:

1) человечество определяет все процессы, протекающие в биосфере; доля человечества в живом веществе Земли не может возрастать бесконечно;

2) человечество становится пространственно-распределенным надорганизмом, обладающим единым информационным полем, существующим в едином пространственно-временном континууме и управляемым в общих случаях едиными биологическими и общественными законами;

3) основной движущей силой эволюции человечества и, следовательно, основным показателем ноосферы является рост научного знания.

В этих обобщающих положениях заключены не только основополагающие факторы эволюции человечества, но и заложены основные факторы риска, среди которых можно выделить основные: антропогенные, экологические, включая природные, и техногенные.

Подчеркнем, что отмеченные факторы риска связаны между собой в прямом смысле и с помощью довольно сложных обратных связей. Их взаимовлияние просматривается на всех уровнях исследований, и выделение одного из них в отрыве от других возможно лишь для сугубо конкретных случаев; в глобальном смысле картина будет всегда искаженной. То есть мы можем говорить о триединстве антропогенной системы “Человек–среда обитания–творение Разума Человека” и как об антиподе этой системы о триединстве факторов риска: антропогенных, экологических и техногенных (рис. 1.1).

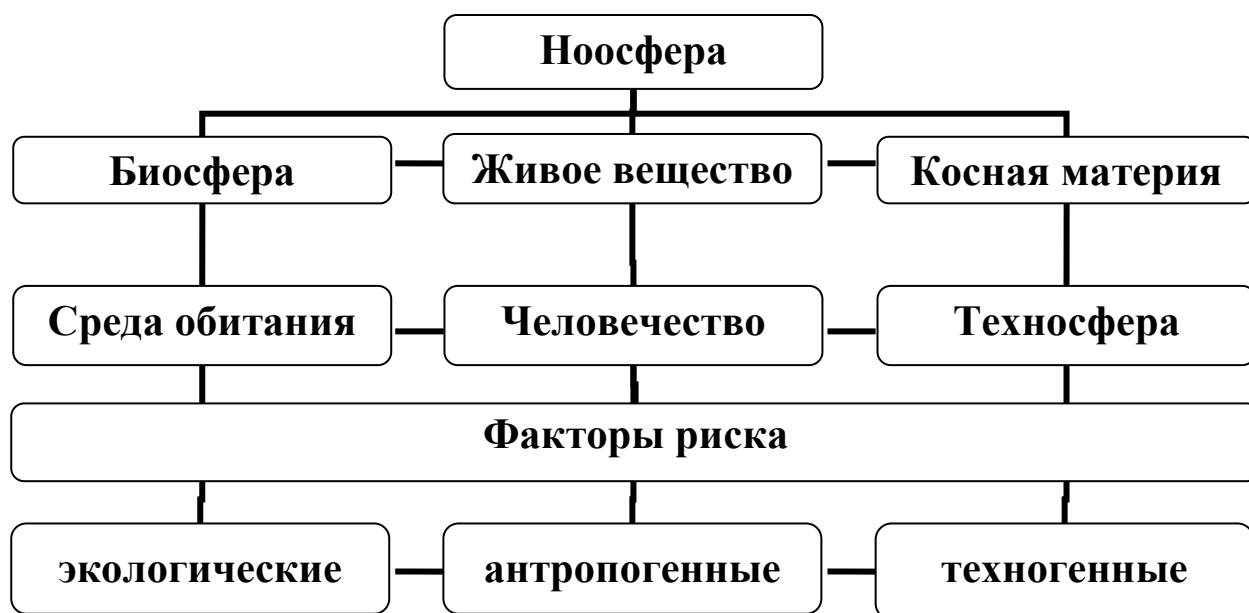


Рис. 1.1. Антропогенная система “Человек–среда обитания–творение Разума Человека” и факторы риска

Если исследовать более подробно, то можно выделить, по крайней мере, три основных фактора: неконтролируемый рост населения, т.е. катастрофическое увеличение доли человечества в общей массе живого вещества Земли; антропогенное давление на биосферу, приводящее к уменьшению площади, пригодной для существования живых организмов, и психофизические особенности человека, мозг которого, по мнению Н.П. Бехтеревой, не мог быть создан на Земле и является порождением Космоса. Что касается неконтролируемого роста населения, то достаточно привести следующие данные [15]: в начале нашей эры численность населения планеты составляла примерно 250 млн, в начале XIX века – 1,2 млрд, в 1930 г. – 2; 1961 г. – 3; 1972 г. – 3,7; 1995 г. – 5,6; 2004 г. – 6,4 млрд. По мнению Д. Форрестела, рост численности населения обуславливает экономический прогресс, а это, в свою очередь, стимулирует рост населения.

1.3. Факторы риска

1.3.1. Антропогенные факторы риска

Антропогенное давление на биосферу стало особенно заметным в последнее время в связи с резким сокращением площадей, пригодных для жизни человека, с уменьшением биоразнообразия, экологическими катастрофами.

Активное превращение биосферы в техносферу обусловлено деятельностью горнодобывающих, металлургических, машиностроительных, химических, агролесопромышленных, транспортных, строительных, военно-промышленных, социальных комплексов и жилищно-коммунального хозяйства.

К основным составляющим антропогенных факторов риска горнодобывающего комплекса на окружающую среду относятся геомеханические, гидрологические, химические, физико-механические и шумовые.

В Украине наибольшие нарушения природной среды установлены на Криворожском железорудном комбинате. Площадь нарушенных земель здесь составляет более 20 тыс. га. На 5 горно-обогатительных комбинатах Криворожского бассейна ежегодно складировается в отвалы примерно 84 млн м³ вскрышных пород [10].

По данным В.А. Ковды [11], человечество на современном этапе развития эффективнее остального животного мира в 2 тыс. раз: объем отходов органического происхождения биосферы равен 10⁷ тонн в год, а человечества – 2·10¹⁰ тонн в год. Производственные мощности техногенного общества удваиваются каждые 10–15 лет и адекватно этому увеличивается степень загрязнения биосферы.

Отмеченные факторы риска, будучи важнейшими сами по себе, в сочетании с экологическими и природными катастрофами, сокращением естественной среды обитания, негативными последствиями цивилизации – все возрастающее накопление ядерного, химического и бактериологического оружия, экологические бедствия и т.д. – могут привести к включению необратимого механизма самоистребления человечества. Можно вспомнить лишь один, но весьма важный и яркий пример. Часть биомассы, которая

потребляется человечеством, постоянно возрастает и к середине XX века достигла 10 % против 0,1 % в конце XIX века. Деятельность человечества уже привела к серьезному нарушению равновесия на Земле, которое было достигнуто в процессе биологической эволюции на протяжении многих миллионов лет. Сегодня биосфера не в состоянии компенсировать в глобальном измерении нарушения, вызванные антропогенным давлением.

1.3.2. Экологические факторы риска

В последние годы хозяйственная деятельность человека приобрела такие масштабы, что нормальное функционирование биосферы оказалось практически невозможным. Наступает время, когда дальнейшее приращение емкости искусственной среды обитания человека, т.е. дальнейшее увеличение выпуска конечной продукции, сопровождается такой же, а может быть, и большей потерей емкости естественной среды, и тогда суммарная емкость прекращает свой рост.

Так, за последние 40 лет приведена в негодность пятая часть верхнего почвенного слоя Земли; примерно восьмая часть возделываемых земель утрачена в результате опустынивания, заболачивания и засоления; более чем на треть возросло содержание газов в атмосфере, вызываемых парниковым эффектом, который приводит к потеплению климата; примерно на треть сокращена и фактически превращена в биологическую пустыню площадь, занимаемая лесами еще в 1950 году; более чем на 5 % разрушен озоновый слой планеты [12]. Чрезмерная концентрация промышленных и сельскохозяйственных предприятий в Украине привела к катастрофическому загрязнению земли, воды и воздуха; в атмосферу ежегодно выбрасывается свыше 17 млн тонн вредных веществ; в большинстве промышленных городов загрязнение воздуха в 10–15 раз превышает допустимую концентрацию. Из 60,4 млн га земли в Украине треть поражена эрозией, количество гумуса снизилось в шесть раз, площадь кислых земель увеличилась на 30 %, засоленных – на 25

%. В Карпатах площадь лесов сократилась более чем наполовину и составляет в горных районах 53,5 %, а на равнинах менее 2 %. За последние 30 лет для строительства технических объектов было использовано более 2 млн га пахотной земли [10]. По данным Всероссийского Конгресса по вопросам рационального природопользования, в России из 130 млн га пахотной земли 54 млн поражены эрозией, 4 млн га засолены, 1 млн заражены радионуклидами [12].

Как видим, развитие биосферы и антропосферы во многом противоречиво: антропосфера вытесняет биосферу. Прежде всего, это касается почвы. Общая площадь почв за последнее столетие не только не выросла, но во многих регионах существенно сократилась.

Происходит наиболее интенсивное исчезновение биологических видов. Сейчас на Земле существует примерно 10 млн видов, и естественная скорость их исчезновения составляет 4 вида в год. По мнению П. Рейвена [12], в течение ближайших десятилетий будут исчезать около 50 тыс. видов в год. При этом, в отличие от других глобальных экологических проблем, исчезновение видов носит абсолютно необратимый характер, и пагубные последствия этого процесса могут сказаться в самом ближайшем будущем. Уменьшение биоразнообразия связано с целым рядом важнейших функций, выполняемых природными экосистемами, в число которых входят: защита водоразделов, регулирование микроклимата, поглощение загрязняющих веществ, образование и сохранение почвенного покрова, преобразование солнечной энергии в химические соединения, что необходимо для обеспечения жизнедеятельности всех живых организмов, включая человека.

В сфере горно-металлургического и химического производства деятельность человека стала соизмеримой с деятельностью геологических процессов, протекающих на Земле. Вследствие выбросов в атмосферу углекислого и других газов возникает парниковый эффект: ежегодно средняя температура планеты повышается на 0,02 °С, что может привести к таянию ледовых континентов и затоплению части Земли.

Иначе говоря, сейчас невозможно повышать производительность труда без усиления антропогенного давления на биосферу. Нельзя одновременно сберегать труд и энергию, так как эти два процесса несовместимы. Ставятся под сомнение беспредельные возможности НТП, а экологические ограничения могут служить барьером для роста производительности труда.

Если планируемый ход развития НТП неизбежно приведет, и уже приводит сейчас, к глобальным противоречиям, то реальный НТП, сопровождаемый авариями и катастрофами типа Чернобыльской, существенно приблизит то время, когда сокращение среды обитания человека поставит на грань существования целые государства. Поэтому у человечества должны выработаться устойчивые представления об экологическом императиве как совокупности условий, нарушение которых будет иметь для цивилизации катастрофические последствия. Экологический императив в ряде случаев может существенно изменить императив нравственный и привести к отмене действующих законов и правил.

Экологические факторы риска могут поставить, и уже ставят в ряде случаев, человечество перед альтернативой дальнейшего развития техносферы в том направлении, которое было выбрано в прошлом веке, и с которым мы вошли в третье тысячелетие. Самые большие успехи человечества в области создания техносферы – ракетно-космическая и ядерная техника, транспортные системы, достижения в области химического производства, сложные технические системы, урбанизация городов и ряд других – сопровождаются чудовищными техногенными авариями и катастрофами и в конечном итоге приводят к уменьшению среды обитания. Это процесс усугубляется все возрастающим числом природных катастроф, в том числе землетрясений, селей, наводнений, тайфунов, вулканической деятельностью.

Достижения науки как высшее проявление человеческого разума оказались далеко не всегда благоприятными для эволюции человечества в рассматриваемом контексте. Прав Экклезиаст "...во многой мудрости много печали; и кто умножает познания, умножает скорбь".

1.3.3. Техногенные факторы риска

Наиболее актуальной проблемой современности является безопасность людей и окружающей среды, рабочих процессов и технологий, машин, оборудования, сложных технических систем и уникальных сооружений. Крупнейшие техногенные аварии и катастрофы, имевшие место в последнее десятилетие, унесли многие тысячи человеческих жизней, причинили большой и часто невосполнимый урон окружающей среде. Непосредственные затраты на ликвидацию последствий от них составляют миллиарды долларов.

В настоящее время на территории стран СНГ, в том числе и Украины, продолжают эксплуатироваться сотни потенциально опасных промышленных объектов. Ускоренное развитие промышленности Украины, перестройка ее экономики и структуры производства в направлении повышения рентабельности, являющиеся основой экономического прогресса, невозможны без освоения новых, современных технологий, требующих реализации сложных технических проектов.

Насыщение национальной экономики Украины сложными техническими системами повышенного риска и низкой надежности в зонах высокой концентрации населения резко усиливает опасность крупных техногенных и природно-техногенных аварий и катастроф. Тяжелые последствия от разрушений, взрывов, пожаров, крушений, выбросов радиоактивных и других вредных веществ и т.д. усиливаются при возникновении природных катастроф.

К наиболее тяжелым и, по-видимому, невосполнимым последствиям привели аварии и катастрофы техногенного характера, происшедшие на атомных станциях в США и Украине, на предприятиях нефтегазохимического комплекса в США, ФРГ, России, Мексике; на трубопроводных системах США, Италии, России; на железнодорожном и морском транспорте России, Норвегии, Англии и т.д., а также природно-техногенного и природного характера; разрушения жилых и промышленных объектов при землетрясениях, ураганах,

цунами, наводнениях, селях, динамическом проявлении горного давления (Украина, Грузия, Армения, Туркмения, Россия, США, Япония, Иран и др.). Все эти катастрофы по силе их влияния выходят за рамки национальных и приобретают глобальное значение. Несмотря на значительное различие в экономическом и культурном развитии большинство стран испытывают совершенно одинаковую незащищенность перед угрозой аварий и катастроф. Ни одна страна, независимо от ее размеров и потенциала, не имеет достаточно ресурсов, чтобы ликвидировать опасность стихийных бедствий.

Крупнейшие аварии и катастрофы по своим экологическим, экономическим и социальным последствиям не имеют политических, национальных и географических границ. Поэтому всем странам, в одинаковой степени подверженным риску, выгодно тесное сотрудничество.

Особенно уязвимыми в отношении аварий и катастроф являются крупные города и промышленные регионы. В этом отношении Украина и Россия обладают особым статусом, так как их территории насыщены сложными инженерными сооружениями: атомные электростанции, нефте- и газопроводы, транспортные системы, плотины водохранилищ и т.д. В этом случае особую опасность представляют многоступенчатые, или так называемые синергетические катастрофы, когда стихийные бедствия порождают техногенные аварии и, наоборот, – технические аварии усугубляются в дальнейшем катастрофами природного характера.

Существование такой тесной взаимосвязи между природными, техногенными и экологическими катастрофами и предопределяет теорию и стратегию борьбы с катастрофами, заключающуюся в прогнозировании и предупреждении аварий и катастроф.

Реализация этой новой стратегии возможна лишь в случае разработки методов и средств прогнозирования и предупреждения.

В этом смысле катастрофы следует рассматривать не как природное явление само по себе, а как результат взаимоотношений природы и общества.

Поэтому стратегия развития городов и регионов должна учитывать и существование проблемы стихийных бедствий.

Если можно допустить существование аварий и катастроф, как уклонение от недостижимого идеала, то лозунг “В XXI век без катастроф”, мягко говоря, практически неосуществим. Число природных и техногенных аварий, катастроф неуклонно растет и в XXI веке их будет несравненно больше, чем в XX веке. Причин тому много, но главные из них можно выделить в виде следующих отдельных тезисов:

- неконтролируемый рост населения и его концентрация на ограниченных регионах Земли;
- интенсивное исчезновение биологических видов Земли;
- огромные запасы вооружения – ядерного, химического, бактериологического, его неконтролируемый рост и недостаточно контролируемое распространение; появление психотропного оружия, последствия применения которого трудно предсказать;
- незрелость общественного сознания, неумение лидеров, а зачастую и отсутствие таковых, видеть отдаленную перспективу, действовать в интересах всего Человечества;
- энтропия, как мера беспорядка общества, катастрофически возрастает: постоянные военные конфликты, голод во многих регионах, здоровье отдельных индивидуумов резко ухудшается, нравственные устои общества явно нарушены: беззастенчиво при явном попустительстве властей в большинстве стран мира пропагандируются секс, насилие, вопиющие пороки; радиационно-химическое загрязнение приводит к наследственным мутациям, т.е. к изменению генофонда;
- уменьшается среда обитания, ресурсы Земли катастрофически истощаются; в ближайшее время острыми вопросами станет нехватка питьевой воды, энергоресурсов, загрязнение воздуха;

- варварское отношение к Земле: истребление лесов, загрязнение морей, рек, озер; эрозия и истощение почвы; такое насилие над природой приведет, а в ряде регионов уже привело, к экологическим бедствиям;
- спонтанное развитие техносферы: огромные заводы, транснациональные трубопроводы, нефтетерминалы, хранилища ядерных, химически активных веществ, плотины, атомные и тепловые электростанции, чудовищно развитые пути сообщения – авиационные, автомобильные, железнодорожные и морские перевозки;
- огромный разрыв в уровне научной и технической подготовки между создателями техники и специалистами, ее эксплуатирующими; и как результат несоответствия – техногенные катастрофы причиной которых в большинстве случаев является именно человеческий фактор;
- виртуальный (мнимый, созданный техническими средствами) мир информатики – индустрия развлечений компьютерных игр – уже начинает вытеснять объективную реальность, навязывая собственные ценности и законы;
- скорость внедрения новых технологических процессов опережает рост нравственно-этических законов в обществе; знания концентрируются в отдельных регионах, у небольших групп людей, более того, устанавливается монополия на уже достигнутый уровень знаний, особенно в приоритетных областях науки, имеющих стратегическое значение;
- повышение безопасности сложных технических систем имеет свои ограничения как сугубо технические (надежность СТС и ее структурных звеньев не может быть обеспечена на 100 %), так и чисто экономические.

1.3.4. Некоторые принципы создания безопасных сложных технических систем

Если отвлечься от таких глобальных вопросов, как рост народонаселения, войны, эпидемии, природные аварии и катастрофы, т.е. от антропогенных и экологических факторов риска, неизбежно сопровождающих эволюцию человечества и требующих зачастую принятия решений на планетарном уровне, то все же имеется достаточно проблем регионального характера, представляющих важный интерес: создание и эксплуатация заводов, шахт, хранилищ опасных веществ и т.д., т.е. сложных технических систем; создание региональных служб безопасности; создание условий для безопасного функционирования городов с их сложными коммуникациями и т.д. Среди этих вопросов безопасное функционирование сложных технических систем играет едва ли не важнейшую роль. Именно сложные технические системы в большинстве случаев являются главным источником техногенного риска.

В книге В.И. Дырды [13] рассмотрена концепция безопасного функционирования сложных технических систем. Вопрос этот обладает чрезвычайной многогранностью и сложностью, затрагивает не только технические, но и нравственно-этические аспекты. Тем не менее, и он подчиняется определенной логической схеме, в которой анализ риска должен стать неотъемлемой составной частью работ при проектировании, создании и эксплуатации современных сложных технических систем. В принципе, как и ранее, здесь действует правило триединства. Для безопасности системы необходимо:

- 1) спроектировать и создать систему максимально безопасной, т.е. обязательным должно быть отсутствие недопустимого риска, связанного с возможностью нанесения ущерба;

- 2) сделать эксплуатацию системы максимально надежной и безопасной;

- 3) в систему ввести элемент, обеспечивающий механизм снижения или ликвидации последствий аварии.

Поскольку работы по первым двум пунктам можно выполнить лишь теоретически, так как надежность СТС имеет свой экономико-

конструкционный предел и стопроцентную надежность технической системы практически не возможно обеспечить, то философия безопасности требует введения дополнительного третьего элемента, который допускает, что авария все же произойдет и опасные вещества (радионуклиды, химически вредные вещества, газ и т.д.) за пределы системы выйдут.

В общем случае алгоритм безопасности СТС представлен на рис. 1.2. Отличие этого алгоритма от известных заключается в том, что человек в нем является едва ли не основным звеном безопасного функционирования системы. При этом человек не просто некоторая составная часть модели СТС; напротив, сама система является составной частью техносферы, порожденной разумной деятельностью человека. Сведение же роли человека к обычному звену СТС, например к роли оператора или диспетчера таких многофункциональных систем, как атомные электростанции, крупные горно-обогатительные предприятия, транснациональные трубопроводы и т.д., приводит к упрощенному моделированию объектов, без учета их проектирования, расчета и совершенствования во время длительной эксплуатации.

СТС – продукт человеческой деятельности, и ее безопасность нельзя рассматривать в отрыве от важнейших проблем, включающих инфраструктуру городов, энергоснабжение, экосистемы, региональное и транснациональное пространство и т.д.

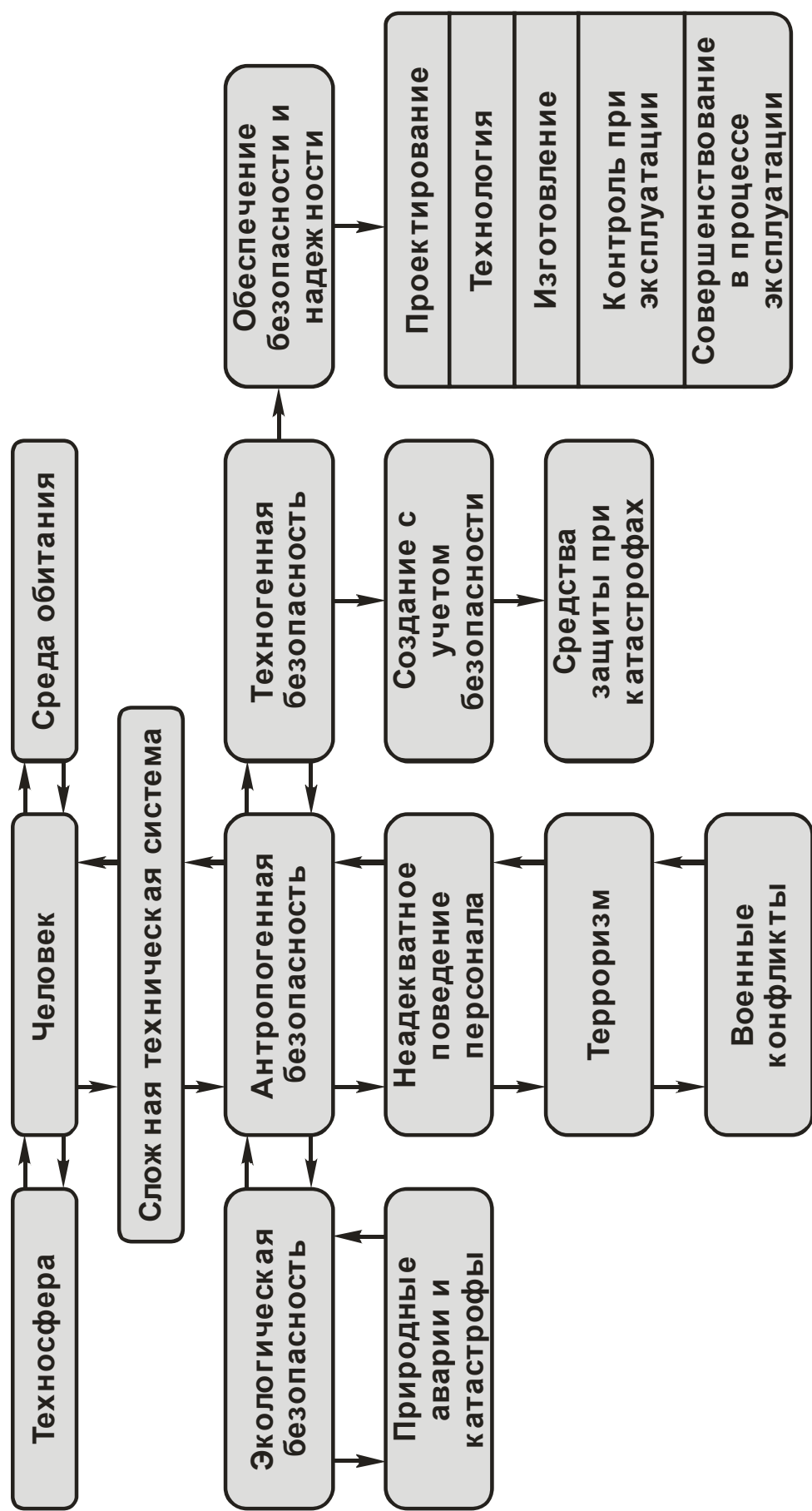


Рис. 1.2. Схема обеспечения безопасности и устойчивого функционирования СТС

К тому же сложные технические системы не существуют сами по себе, а находятся в некотором коллективно-функциональном взаимодействии с другими техногенными системами; между ними наблюдаются определенные обратные связи, и все это вместе значительно усложняет общий алгоритм безопасности. Поэтому предлагаемую синергетическую модель, т.е. модель, которой присущи элементы самоорганизации, следует в общем случае рассматривать как некоторый пространственно-временной континуум.

При проектировании и решении задач по безопасности СТС помимо общепринятых следует, на наш взгляд, придерживаться правил, вытекающих из концепции И. Пригожина [8]. Сущность этих правил для СТС, впрочем, как и для любой другой открытой термодинамической системы, сводится к следующему:

- открытым системам в качестве сущностной характеристики присуща нестабильность; поэтому человек обязан более деликатно относиться к их функционированию, и прежде всего вследствие неспособности однозначно предсказать то, что произойдет в будущем. Аварии и катастрофы изначально заложены в функциональных особенностях СТС, и задача человека с помощью жестких ограничений на правила проектирования, расчета и эксплуатации свести факторы риска к возможному минимуму;
- увеличение энтропии отнюдь не сводится к увеличению беспорядка, ибо порядок и беспорядок возникают и существуют одновременно. Следовательно, рассмотрение СТС становится дуалистическим и стержневым моментом при этом является представление о неравновесности. В ситуации, далекой от равновесия, процесс функционирования СТС становится нелинейным, а нелинейное поведение обычно имеет более чем один тип решений. Поэтому в любой момент времени может возникнуть новый тип решения, не сводимый к предыдущему, – в точках бифуркации – может происходить смена пространственно-временной организации системы.

Здесь следует подчеркнуть, что окружающая нас среда, техносфера и т.д. являются в общем случае объектами, детерминированными странными аттракторами и, следовательно, своеобразной смесью стабильности и нестабильности, что крайне затрудняет предсказание их будущего поведения;

- в детерминистическом мире риск отсутствует, ибо риск есть лишь там, где универсум открывается как нечто многовариантное, подобно сфере человеческого бытия. Такое многовариантное видение мира, по мнению И. Пригожина, раскрывает возможность выбора – выбора, означающего, между прочим, и определенную этическую ответственность.

На наш взгляд, без учета факторов, характеризующих этическую ответственность, при расчете СТС, равно как и любого другого ответственного объекта техносферы, расчет всегда будет неполным.

2. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ГОРНОРУДНЫХ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ: ЭКОЛОГО-СОЦИАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА

*И каждый спасенный клочок земли ответит вам улыбкой зелени,
веселым шелестом ветвей, чистой воздуха и радостным чувством
сделанного хорошего, полезного дела – дела, украсившего нашу жизнь!*
Б.Н. Польский

2.1. Современный техногенез и необходимость рекультивации

У человечества нет техногенного эволюционного покоя. Описывая геохимию гипергенных процессов, академик А.Е. Ферсман выделил производственную деятельность человека в техногенез и констатировал, что техногенез “геохимически переделывает мир” посредством “извлечения элементов из глубины” [3].

Только в Украине за 1992–2002 гг. ежегодно добывалось 78,5 млн тонн угля, 56 млн тонн железной руды, 2,7 млн тонн марганцевой руды, 4,1 млн тонн нефти с конденсатом и 17,8 млрд м³ природного газа. Анализ развития современной природно-техногенной системы “техногенный объект–окружающая среда” явно носит “лихорадочный темп развития человечества” [3]. По данным В.А. Ковды [11], выемка рудных пород составляет $5 \cdot 10^9$ т/год.

Проблема исчерпаемости минеральных ресурсов имеет три аспекта: физический, экономический и экологический. Например, А.Е. Ферсман в первой трети XX столетия приводил данные соотношения между ежегодным промышленным извлечением отдельных элементов и их запасами в земной коре. При этом он утверждал, что “железных руд, не ниже 40 %, ... хватит на 60 лет, а в земной плёнке до 2 км глубины ... на 448 лет” [3]. Расчёты “Римского клуба” оценивают время исчерпаемости для железа – 173 года [12].

Одним из природных ресурсов Украины есть и высокоплодородные почвы – чернозёмы. На современном этапе развития общества наибольшую проблему составляют охрана и рациональное использование почвы, а также экологические аспекты землепользования. Агрорландшафты (пашня, сенокосы,

пастбища), при их неправильном использовании, имеют деграционные тенденции, а при открытой разработке полезных ископаемых наблюдаются эрозионно-деградационные процессы зональных эдафотопов, или техногенно изменяется естественный почвенный покров при селективной разработке, складировании в бурты и последующем использовании его в рекультивации. Кроме того, при открытой разработке месторождений полезных ископаемых формируется техногенный ландшафт со специфическими гидрогеологическим и геохимическим режимами, которые формируют интенсивные антропогенные потоки вещества. В биогеохимический круговорот вовлекаются глубинные, часто токсические соединения и элементы, обуславливающие значительные изменения количественных и качественных характеристик естественной среды – биогеохимического фона местности.

Рекультивация земель – комплекс организационных, технических, биотехнических мероприятий и правовых норм, направленных на восстановление почвенного покрова, улучшение состояния и продуктивности земель.

Законами Украины [14, 15] определены правовые, экологические и социальные основы охраны земель, сохранения экологических функций элементов окружающей среды, базовой составляющей агроэкосистемы – зональных почв. Ими предусмотрена разработка комплекса мероприятий по возвращению техногенных ландшафтов в состояние, которое гарантирует безопасность жизни и здоровья человека.

В ст. 52 Закона Украины “Об охране земель” определено, что рекультивации подлежат земли, которые испытали изменения в структуре рельефа, гидрологическом режиме, экологическом состоянии почв и материнских пород в результате проведения горнодобывающих, геолого-разведочных, строительных и других работ.

При рекультивации горнорудных техноэкосистем необходимо учитывать особенности селективной разработки вскрыши горных пород, устанавливать наиболее оптимальные схемы отвалообразования (конусное равномерное,

конусное шахматное, конусное сближенное, гребневое с укладкой пород по дуге, плоское), формировать профиль искусственного ландшафта, выбирать методы утилизации или восстановления промышленных отходов (хвосты, шламохранилища, золоотвалы).

Разработка проектов рекультивации должна учитывать природные условия разрабатываемого месторождения, виды открытых и подземных горных разработок, мероприятия по охране окружающей среды от загрязнения сточными водами, пылью, газовыми выбросами. Важными также являются прогнозирование фактического состояния нарушенных территорий, направление рекультивации, соотношение в структуре восстановления земель (пашня, сенокосы и пастбища, лесонасаждение и др.), а также вторичное промышленное использование отработанных и восстановленных земель.

Основными направлениями рекультивации земель являются сельскохозяйственное, лесохозяйственное, рекреационное, водохозяйственное, санитарно-гигиеническое.

Рекультивация проводится в три этапа: подготовительный, технический (горнотехнический), биологический (фитомелиорация).

Подготовительный этап включает обследование нарушенных земель, определение свойств зональных почв, вскрышных пород, моделирование работ по рекультивации, составление технико-экономического обоснования проектов и рабочих проектов по рекультивации.

Технический этап предусматривает формирование техногенного ландшафта, выравнивание поверхности отвалов. При необходимости перекрывают благоприятными породами неблагоприятные субстраты. Состав горных работ включает формирование конечной траншеи, проведение специальных гидротехнических мероприятий, строительство дорог. На выровненную поверхность отвалов послойно наносят лессы или незасоленные лессовидные суглинки, которые покрываются селективно разработанным плодородным слоем почвы. В отдельных случаях в техноэкосистемах

формируют литоземы, сложенные с поверхности вскрышными благоприятными породами.

Биологический этап рекультивации – комплекс агротехнических, фито- и микробомелиоративных мероприятий, направленных на улучшение условий в техногенных эдафотопках. Фитомелиоративный период предусматривает выращивание многолетних бобовых и мятликовых трав или их смесей.

Техногенные эдафотопы, которые сформированы в процессе рекультивации, значительно отличаются от зональных почв уровнем плодородия (трофностью), физическими, физико-химическими, агрохимическими и другими экологически важными показателями. Пионерные агрофитоценозы почвообразующего и хозяйственного значения, состоящие из посевов люцерны посевной или эспарцета песчаного, создают благоприятные эколого-биогеохимические условия для возобновления антропогенного грунтогенеза на восстановленных землях в период биологической рекультивации.

Отработанные карьеры необходимо рассматривать как сложные техноэкосистемы. Это *Terra incognita* – неизвестная земля, созданная антропогенной деятельностью человека. В условиях степной зоны Украины на дневную поверхность выносятся породы прошлых геологических эпох, которые в области взаимодействия поверхностных слоев лито-, гидро- и атмосферы подвергаются современному интенсивному выветриванию.

Для глубокого понимания возможности устойчивого управления развитием техногенных систем, расширение антропогенного “экологического капитала” прошлых эколого-биогеохимических закономерностей генезиса и эволюции палеогрунтосферы в современных условиях необходимо учитывать пространственную дифференциацию элементарных эдафических процессов в зональных почвах и вскрышных породах.

2.2. Черноземы Степи и Лесостепи Украины – условия селективной выемки и охраны при разработке полезных ископаемых открытым способом

Согласно ст. 179 Земельного кодекса Украины, территориальной основой использования и оценки земель является природно-сельскохозяйственное районирование, которое базируется на агропочвенном и даёт возможность на таксономичном уровне (зона, провинция, округ, регион, район) оперировать конкретными данными о почвах, их распространении и свойствах.

Почвенное исследование Украины наиболее плодотворно проводилось в 60–70 годы XIX столетия. В этот период были составлены реестр сельскохозяйственных земель с учётом структуры почвенного покрова и крупно-, средне- и мелкомасштабные почвенные карты.

В 1979 году был издан “Атлас почв Украинской ССР”. Это одна из завершающих работ по сплошному крупномасштабному обследованию почвенного покрова Украинской ССР на площади свыше 45 млн га. В атласе представлены 69 важнейших типов почв, которые обеспечены полной исходной документацией (сопроводительный текст, результаты измерений и анализов, информация о строении и свойствах почв).

Почвенно-экологическое районирование, разработанное ННЦ “Институт почвоведения и агрохимии им. А.Н. Соколовского”, включает картографические материалы с выделением зон, подзон, провинций, фаций и педопарцел, а также их бонитетные параметры природного и эффективного плодородия для основных сельскохозяйственных культур [16]. Эти данные являются основным содержанием земельного фонда Украины – бесценного национального богатства государства.

Картографические материалы, описание почвенного покрова, результаты анализов и морфологические параметры следует учитывать при составлении земельных отводов для горнодобывающей промышленности, а также при разработке проектов рекультивации.

Оценка земельных участков (экологическая, экономическая, денежная), т.е. бонитировка почв – “правоспособность почв” [17], составляется для разработки полезных ископаемых, проводится на основе базовых документов – материалов почвенных обследований.

Проектные решения по рекультивации земель или землеванию малопродуктивных почв должны учитывать генетическую однородность почв, степень проявления процессов деградации (эрозия, засоление), мощность почвы и отдельных ее генетических горизонтов, качественные показатели, площади земельного участка с указанием видов сельскохозяйственных угодий, данные бонитировки почв. При необходимости проводятся дополнительные специальные детальные почвенные обследования (наличие особо ценных или деградированных почв).

Земельным кодексом Украины регламентируется порядок отчуждения земельных участков для государственных потребностей. Порядок и размеры компенсации потерь сельхозпроизводства регламентируются постановлением Кабинета Министров Украины №1279 от 17 ноября 1997 года [18].

Плодородие искусственных почвенно-экологических систем, формируемых при техногенной трансформации (селективная разработка плодородного слоя зональных почв) чернозёмов, изучалось нами путём определения плодородия почвенных масс каждого генетического горизонта чернозёмов в отдельности и в различных сочетаниях их смешивания. Критериями оценки был запас валового гумуса, вегетативная и генеративная продуктивность ярового ячменя, гороха, кукурузы на зерно в вегетативных и лабораторно-полевых опытах.

Сопоставление плодородия селективно разрабатываемого плодородного слоя почвы, сформированного различным долевым участием генетических горизонтов зональных почв, с плодородием Н, НР и РНк горизонтов позволяет установить размер этих изменений и на этой основе определить мощность снимаемой почвы, рациональные схемы разработок чернозёмов впереди фронта

работы карьера, провести моделирование и прогнозирование техногенных эдафических систем.

Коллектив проблемной лаборатории по рекультивации земель ДСХИ (опыты проведены под руководством академика Н.Т. Масюка [20]) установил:

1. Потенциальное плодородие гумусового горизонта чернозёма южного в два раза выше горизонта НР и в 4 раза выше горизонта РНк. Конкретизация и уточнение этого показателя должны проводиться на уровне отдельных родов, фаций, видов, разновидностей, разрядов и вариантов зональных почв.

2. Смешивание гумусового горизонта с первым переходным (Н+НР) приводит к разубоживанию зонального содержания гумуса и формированию плодородного слоя почвы, содержащего гумуса в 1,25 раза меньше, чем в горизонте Н, и в 1,2 раза больше, чем в НР.

3. От смешивания всех трех генетических горизонтов (Н+НР+РНк) при селективной разработке получается плодородный слой почвы с содержанием зонального содержания гумуса 2,2–3,9 %, что почти в 2 раза больше, чем в РНк; в 1,1 раза больше, чем в НР; в 1,3 раза меньше, чем в Н.

4. Плодородие отдельных генетических горизонтов чернозема южного, выраженное запасами гумуса, составляет Н – 100 %, НР – 71 %, РНк – 46 % и Рк – 18 %. При смешивании генетических горизонтов Н+НР – 87 %, двух переходных (НР+РНк) – 60 % и всех трех (Н+НР+РНк) – 78 %. Потенциальное плодородие плодородного слоя чернозёма южного (Н+НР) в районе Керченского ЖРБ составляет в среднем 90 % от гумусово-аккумулятивного, а эффективное оцененное продуктивностью мезотрофов – 79 %.

5. Экологический ряд, отражающей степень проявления эффективного плодородия отдельных генетических горизонтов чернозёма южного и их смесей по отношению к вегетативной и генеративной продуктивности ярового ячменя, имеет такую последовательность: $H > H+NR > H+NR+RNk > NR > RNk > Rk$.

Значение этого ряда распространяется на все мегатрофные растения – озимую пшеницу, озимую рожь, тритикале, овес, просо, сорго.

Вместе с тем, следует отметить некоторую условность приводимого экологического ряда, так как под влиянием факторов, повышающих эффективное плодородие (внесение минеральных и бактериальных удобрений, фитомелиорация), различие между эффективным плодородием генетических горизонтов их смесей и даже почвообразующей материнской породы может быть выровнено до уровня почвенной массы гумусового горизонта чернозема обыкновенного и чернозема южного.

При составлении проектов горных отводов под карьеры и рекультивации нарушенных земель необходимо моделировать и прогнозировать разработку плодородного слоя почвы (толщину снятия и способ выемки) и его хранение во временных буртах.

Для горных отводов Верхнеднепровского ГМК и Орджоникидзевского ГОКа (Днепропетровская обл.) обследованные нами основные почвы характеризуются определенным строением, мощностью, глубиной отдельных генетических горизонтов и гумусированного профиля зональных черноземных почв (табл. 2.1).

Для разработки плодородного слоя почвы могут применяться различные способы его выемки: скреперная, бульдозерная, экскаваторная, использование роторных комплексов, гидромониторная и другие.

На равнинной части полей будущих карьеров для снятия плодородного слоя почвы следует применять скреперную выемку. Этот способ разработки почвенного слоя позволяет, во-первых, осуществить разработку рекомендованного гумусового слоя почвы путём смешивания почвенной массы двух или трех генетических горизонтов с последующим складированием ее в бурты или нанесением на спланированную поверхность отвала; во-вторых, селективно снимать и отдельно укладывать или в бурты, или на рекультивированную поверхность отвала отдельно почвенную массу каждого генетического горизонта.

Скреперную выемку плодородного слоя почвы следует проводить с применением трактора-толкача, что позволит снимать плодородный слой почвы

с более постоянной толщиной стружки при заполнении ковша. Этот прием следует применять при отдельной выемке гумусовых горизонтов почвы. При работе скрепера с переменной толщиной стружки и по гребенчатой схеме происходит смешивание почвенной массы генетических горизонтов, рекомендованных к снятию.

В зависимости от емкости ковша скрепера выемку, перевозку и укладку почвенной массы в бурты или ее нанесение на поверхность спланированных отвалов скреперную выемку целесообразно применять при расстоянии перевозки 500–1500 м. Увеличение расстояния перевозки удорожает затраты на рекультивацию.

Таблица 2.1

Прогнозный метод диагностики основных почв в пределах горных отводов земель для
Верхнеднепровского ГМК и Орджоникидзевского ГОКа

Почва	Общая мощность гумусированного профиля, см	Генетический горизонт		Среднее содержание гумуса, %	Средний запас гумуса, т/га		Доля генетических горизонтов в формировании плодородного слоя почвы, %		
		индекс	мощность, см		в горизонте	в гумусированном профиле	по объему	по массе	по запасам гумуса
Чернозём обыкновенный малогумусный среднесуглинистый	90	Н	0–42	4,0	202	337	46,7	43,5	60,0
		НРк	43–75	2,0	86		36,7	37,0	25,6
		Phk	76–90	1,3	49		16,6	19,5	14,4
Чернозём обыкновенный малогумусный тяжелосуглинистый	84	Н	0–40	4,6	202	319	47,6	42,5	63,3
		НР	41–60	2,4	63		23,8	25,1	19,7
		Phk	61–84	1,6	54		23,6	32,4	17,0
Чернозём обыкновенный малогумусный слабосмытый	72	Н	0–30	3,4	122	214	41,7	37,9	57,0
		НРк	31–50	2,0	52		27,8	27,4	24,3
		Phk	51–72	1,2	40		30,5	34,7	18,7
Чернозём обыкновенный малогумусный средне- и тяжелосуглинистый среднесмытый	55	Н	0–15	2,8	55	138	27,2	25,2	39,9
		НРк	16–35	1,9	53		36,4	36,1	38,4
		Phk	36–55	1,0	30		36,4	38,7	21,7
Чернозём южный малогумусный тяжелосуглинистый	75	Н	0–35	4,2	169	296	43,8	42,3	57,1
		НРк	36–60	2,8	86		29,7	29,9	29,1
		Phk	61–71	1,7	41		26,5	27,8	13,8
Лугово-чернозёмные и луговые тяжелосуглинистые почвы	120	Н	0–45	4,9	242	477	37,5	33,7	50,7
		НРк	46–83	2,7	123		31,7	31,0	25,8
		Phk	84–120	1,7	113		30,8	35,3	23,5

На некоторых участках для выемки почвы можно использовать бульдозеры, которые перемещают рекомендованную к снятию толщу гумусовых горизонтов во временный отвал. Из отвала почвенная масса экскаватором грузится в автосамосвалы и перевозится к месту укладки – временный бурт хранения или участок рекультивации.

Экскаваторную выемку почвы на комбинатах целесообразно применять на участках с намытыми почвами, когда мощность снимаемого слоя составляет 1,0–1,5 м и более. В отдельных случаях данный способ выемки возможен на равнинной части территории будущего карьера, где сформировались черноземы обыкновенные мощные. При этом следует учитывать форму ковша и длину его зуба, угол черпания и толщину снимаемого гумусового слоя.

При использовании одного из рекомендованных способов выемки почвенного слоя учитывается не только его производительность, но и полнота разработки рекомендованной толщи снятия почвы, а также степень разубоживания почвенной массы гумусовых горизонтов. Наименьшие потери и разубоживание почвенной массы будут при скреперной выемке почвы. Этот способ выемки и следует применять на горнорудных предприятиях в черноземной зоне.

На действующих карьерах применение технологической схемы: снял плодородный слой почвы и сразу уложил на выровненную рекультивированную поверхность отвалов – практически невозможно. Поэтому почвенную массу приходится хранить в буртах. Склады хранения почвы следует размещать на равных участках бортов карьеров с учетом расстояния последующей транспортировки плодородного слоя почвы на спланированную поверхность отвалов или использование его для землевания малопродуктивных почв. Высота складирования почвенной массы определяется временем хранения и составляет 5–10 м. Поверхность буртов необходимо засеивать многолетними травами с целью уменьшения водной и ветровой эрозии, особенно в первые 2–3 года.

Изменение качества почвы при ее хранении в буртах не изучалось нами, литературные источники же противоречивы. Однако подчеркнем, что микробиологическая деятельность в буртах с глубиной будет резко изменяться в сторону снижения активности и даже затухать. Содержание валового гумуса, макро- и микроэлементов практически не изменяется.

Как показал опыт Орджоникидзевского ГОКа, Верхнеднепровского ГМК и Камыш-Бурунского ЖРК, техноэкономически наиболее приемлемым способом формирования плодородного слоя почвы является снятие почвенной массы двух генетических горизонтов Н+НР.

Совместная разработка всех трех генетических горизонтов с экологической, биологической и экономической точек зрения является малопримемой, малоэффективной и нерациональной. Плодородный слой почвы, сформированный из Н+НР+РНк горизонтов, характеризуется пониженным на 16–25 % эффективным плодородием, а примесь карбонатного горизонта (НРк) обуславливает специфичность почвенно-экологических режимов техноземов.

2.3. Влияние технологии разработки месторождений на горно-техническую рекультивацию

В настоящее время все рекультивационные работы должны быть неотъемлемой частью технологических процессов при добыче полезных ископаемых.

Анализ технологии горных работ показал, что при рекультивации отработанных карьеров необходимо учитывать системы их разработки. На комбинатах применяется транспортная, бестранспортная и транспортно-отвальная система разработки.

Отвалы, сформированные автотранспортом, имеют сравнительно ровную поверхность и требуют меньших затрат на проведение сплошной планировки.

Топография отвалов, образованных при транспортно-отвальной системе, имеет менее удобный мезорельеф, т.к. поверхность представляет собой конусы с впадинами (седловинами) между ними.

По способу отвалообразования различают конусное (равномерное, шахматное, сближенное), гребневое (с укладкой пород по дуге) и дуговое (вверное отвалообразование) расположение отвалов.

Выбору способа отвалообразования придают большое значение, т.к. он определяет объем планировочных работ при рекультивации. Так, конусное сближенное формирование отвалов уменьшает объем планировочных работ на 10–16 % в сравнении с конусным равномерным. При гребневом отвалообразовании объем планировочных работ на 25–30 % меньше, чем при конусном. Дуговое формирование отвалов обеспечивает минимальный объем образуемых пустот, подлежащих засыпке.

При формировании внешних отвалов необходимо провести их террасирование и выколачивание до спокойного рельефа. Склоны отвалов целесообразно задернить или провести посадку деревьев.

При рекультивации необходимо строго учитывать период стабилизации отвалов, т.к. горные породы в процессе открытой разработки претерпевают значительные изменения физических свойств. Величина оседания отвалов изменяется в пределах от 0,5 до 5 лет и зависит в основном от плотности пород и способа формирования отвалов.

Отвалы, сформированные из рыхлых вскрышных пород автотранспортом, имеют высоту осадения 6–8 % от высоты отвала. Стабилизация отвалов при транспортно-отвальной системе разработки происходит в первые 1,5 года. Осаждение отвалов в этом случае составляет 10–12 % от первоначальной высоты. Подчеркнем, что наиболее интенсивное осадение отвалов происходит в первые 2 года после их формирования.

Следовательно, работы по рекультивации на отработанных участках карьеров необходимо проводить после стабилизации отвалов и строго

учитывать период времени между планировкой отвалов и нанесением на них плодородного слоя почвы.

Рекультивационные работы начинают с комплекса инженерных мероприятий: устройство дорог, подъездов, отвод внутрикарьерных вод, защита участков от подтопления или заболачивания, борьба с эрозией. Обязательно учитывают восстановление гидрологического режима на рекультивируемой территории с учетом естественного рельефа местности.

2.4. Эколого-биологическая оценка степени пригодности вскрышных пород для рекультивации сложных техноэкосистем

2.4.1. Гранулометрический состав

При рекультивации сложных техноэкосистем очень важно знать гранулометрический состав вскрышных пород, что крайне необходимо для обоснования устойчивого прогрессивного развития биогеоценотических систем в толще антропогенных эдафотопов. Прежде всего, с гранулометрическим составом тесно связаны физические, технологические, физико-химические и водные свойства пород, которые в значительной мере обуславливают их биологическую активность. Вместе с тем, как утверждал Н.А. Качинский [21], следует учитывать, что непосредственные выводы из данных гранулометрического состава можно сделать для легких пород. Для тяжелого гранулометрического состава, особенно вскрышных пород морского происхождения, многие свойства будут определяться агрегированием мельчайших частиц, что обуславливает различную прочность агрегатов. Особое значение в процессах агрегирования и образования структуры принадлежит илистой фракции.

Гранулометрический состав вскрышных пород изменяется с учётом их геологического возраста от песчаного до тяжелосуглинистого.

Известно, что песчаные субстраты бедны элементами питания для растений, обладают ничтожной водоудерживающей и поглотительной

способностью, а оказавшись на дневной поверхности отвалов, подвергаются воздушной и водной эрозии. Глинистые породы вскрыши в естественном залегании очень плотные, вязкие, отличаются большой липкостью и неблагоприятным воздушным режимом.

При роторной разработке верхних уступов карьера, сложенных лессом, лессовидными палево-желтыми суглинками, желто-бурыми и красно-бурыми суглинками, как правило, происходит их смешивание. Средний гранулометрический состав смеси этих пород тяжелосуглинистый иловато-пылеватый. В составе гранулометрических элементов доминируют крупная пыль (32,0–40,0 %) и илистая фракция (34,0–37,0 %). Лессовидные и красно-бурые суглинки сильно карбонатные. Потери от обработки соляной кислотой составляют 10–12 % и более.

Красно-бурая глина характеризуется легко- и среднеглинистым пылевато-иловатым гранулометрическим составом. Физическая глина (>0,01 мм) составляет 75,4–77,35 %, а на илистую и пылеватую фракции приходится 53,16– 54,16 % и 24,72–27,35 % соответственно.

Используемые для рекультивации серо-зелёные глины верхнего сарматского яруса неогена содержат 68,54–84,12 % физической глины и характеризуются легко- и среднеглинистым гранулометрическим составом. В составе физической глины преобладает илистая фракция – 52,71–55,12 %. Следует отметить, что в мелких фракциях (ил грубый и тонкий, коллоиды) экологически значащими признаками следует считать активность и доступность (большая растворимость) биогенных элементов глинистых минералов: монтмориллонит, гидрослюды, лимонит, пирролюзит и др.

Породы легкого гранулометрического состава относятся к “теплым”, тяжелого – к “холодным”. В сухом состоянии красно-бурая и особенно серо-зелёная глины становятся очень плотными и твердыми, значительно уменьшаются в объеме, что способствует образованию больших трещин на поверхности литоземов.

Оценку вскрышных пород для рекультивации по гранулометрическому составу (классификация Н.А. Качинского учитывает генезис почв) **следует проводить по степени их дисперсности.** Соотношение фракции ила к крупной пыли у серо-зелёной глины увеличивается в 10–13 раз по сравнению с лессовидными суглинками.

Разнокачественные показатели (химический состав, пористость, пластичность, усадка, влагоёмкость, водопроницаемость, отношение SiO_2 к P_2O_3 и др.) физической глины и физического песка во вскрышных породах обусловлены геологией и соотношением твердой, жидкой и газообразных фаз, а с течением времени – и биоты в поверхностных слоях техногенных ландшафтов и рекультивированных эдафотопов.

В техногенных вскрышных породах, когда они повторно, в современных условиях атмосферы, подвергаются “процессам катагенеза–гипергенеза” [3], наибольшее влияние на процесс агрегирования будут иметь коллоиды ($<0,0001$ мм), гидраты окислов алюминия и железа (положительный заряд) и карбонаты. Нами установлено, что во вскрышных породах Никопольского марганцеворудного бассейна валовое содержание Al_2O_3 составляет в породах легкого гранулометрического состава 0,27–1,20 %, в суглинках 8,2–11,3 %, красно-бурой глине – 15,6–16,1 %, серо-зелёной марганцевой глине 17,9–19,1%. Количество Fe_2O_3 в надрудной толще пород колеблется от 1,0 до 10,2 %.

Для агропроизводственной оценки структуры вскрышных пород при рекультивации необходимо учитывать гранулометрический показатель структурности субстратов по А.Ф. Вадюниной [22]. Этот показатель, мы считаем, наиболее полно характеризует **потенциальную способность к агрегированию вскрышных пород.**

По нашим расчетам, усредненный показатель структурности пород составляет для лессовидных суглинков 52 %, красно-бурых суглинков 119 %, красно-бурых глин 152 %, серо-зелёных глин – 278 %.

2.4.2. Структура вскрышных пород и плодородного слоя почвы при рекультивации

Заметим, что при рекультивации следует различать понятие структуры морфологическое и агрономическое. В морфологическом понимании структура – это размер и форма отдельностей (агрегатов): кубовидная, призмовидная и плитовидная. Агрономически ценной является структура водопрочная с высокой порозностью.

Микроагрегатный анализ методом Н.И. Саввинова [22] показал, что в образцах пород, отобранных с борта карьера, количество глыбистых агрегатов увеличивается с глубиной: лессовидные суглинки 22,5–54,4 %, красно-бурая глина 70,0 %, серо-зелёная глина 78,7 %. Количество микроагрегатов у этих пород незначительное (1,1–3,5 %). У красно-бурой и серо-зелёной глин макроструктура представлена крупноореховатыми округлыми и плитчатыми агрегатами. Коэффициент структурности по результатам сухого просеивания пород у лессовидных суглинков составил 2,2, красно-бурой и серо-зелёной глин 1,2 и 1,0 соответственно.

У субстратов, сложенных макроструктурными агрегатами (10–0,25 мм), которые под действием воды не размокают или частично распадаются на мелкие агрегаты, формируются хорошие водно-физические условия. Бесструктурные породы заплывают при их интенсивном увлажнении, в эдафотопе ухудшается аэрация, а при высыхании на поверхности образуется корка.

Водопрочность вскрышных пород следует учитывать при формировании отвалов (особенно внешних) и рекультивации. Нами установлено, что породы имеют различную водопрочность: лессы, лессовидные суглинки обладают неводопрочной структурой, а красно-бурые и серо-зелёные глины характеризуются высоким показателем водопрочности.

Среднее количество водопрочных агрегатов (метод Н.Е. Бекаревича) у лессовидных суглинков, в зависимости от размеров микроагрегатов, составляло

0,9–4,1 %, красно-бурой и серо-зелёной глин 64,6–79,8 % и 68,3–88,1 % соответственно. Высокая водопрочность вскрышных пород неогеновой системы обусловлена плотной упаковкой микрочастиц, наличием очень тонких некапиллярных пор, что уменьшает проникание воды внутрь макроструктурных отдельностей.

Оценку водопрочности вскрышных пород при формировании техногенных ландшафтов и их рекультивации, а также имеющих различную породу прочности агрегатов (стойкое химическое и физико-химическое закрепление коллоидов, неводопроницаемость в виду наличия в основном тонких некапиллярных пор) следует проводить по количеству водопрочных комков во фракции сухого просеивания 0,5–0,25 мм.

Установлено, что средняя водопрочность такой фракции у лессовидных суглинков составляет 1,1–2,8 %, красно-бурых суглинков 20,1–24,9 %, красно-бурой глины 61,4–64,6 %, серо-зелёной глины 62,3–67,4 %, насыпного плодородного слоя почвы (чернозём обыкновенный) 7,6–26,9 %.

Таким образом, при разработке карьеров и рекультивации сложных техноэкосистем понятие, сущность и показатель гранулометрического состава и структуры вскрышных пород и плодородного слоя почвы имеют полифункциональное значение – генетическое, агрономическое, мелиоративное и экологическое. Кроме того, при селективной транспортно-отвальной системе вскрышных работ появляется техническая возможность коренным образом изменить (улучшить) тяжелые породы методом “пескования”, “лессования”, а легких, наоборот, “глинованием”. В экологизированных горнотехнических проектах рекультивации такие приёмы будут способствовать формированию контролируемых параметров у восстановленных эдафотопов.

2.4.3. Физические свойства техно- и литоземов и их изменение в период биологической рекультивации

В ненарушенных геологических сложениях плотность верхних горизонтов чернозёма обыкновенного составляет 1,0–1,2 г/см³, нижних – 1,3–1,4 г/см³, лессовидных суглинков – 1,45–1,59 г/см³, красно-бурых суглинков – 1,57–1,63 г/см³, красно-бурой глины – 1,61–1,66 г/см³, зеленовато-серой глины – 1,65–1,70 г/см³ и глауконитовых глин – 1,69–1,73 г/см³. При перемещении пород в отвалы роторными экскаваторами или драглайнами их плотность уменьшается. В процессе формирования отвалов с помощью автотранспорта плотность пород в них изменяется меньше. В местах же проходов тяжёлых машин и механизмов установлено значительное увеличение плотности пород – до 1,76–1,88 г/см³. Особенно сильное уплотнение пород наблюдается при их влажности, когда она становится выше физической спелости.

Рекультивация земель – это процесс послойного формирования эдафотопа мощностью не менее 1,5 м. Нанесенный на спланированную поверхность отвалов слой потенциально-плодородной породы (лессовидный суглинок, смесь лессовидного и красно-бурого суглинков) требует сплошной планировки, которая достигается многочисленными проходами бульдозера, скреперов и грейдеров, что вызывает дополнительное уплотнение этой части рекультивированного слоя. Затем на подготовленные таким образом участки наносят плодородный слой почвы автоскреперами или автотранспортом. Такое послойное (два-три слоя) формирование эдафотопа приводит к образованию более уплотненных прослоек в техноземах, которые ухудшают свойства восстановленных земель.

Установлено, что после создания рекультивированных земель плотность субстратов в метровой толще двухъярусного эдафотопа изменяется от 1,36 до 1,85 г/см³. На участках, сформированных лессовидными суглинками толщиной 150 см, плотность составляет 1,37–1,78 г/см³, а сложенных только красно-бурой глиной этот показатель равняется 1,56–1,85 г/см³.

Следовательно, после проведения горнотехнической рекультивации эдафотоп будет определяться, прежде всего, водопроницаемостью.

Проведенными исследованиями установлено, что впитывание воды на рекультивированных землях после их создания было очень низким. Поэтому при выпадении атмосферных осадков даже средней интенсивности на поверхности восстановленных участков в микропонижениях собирается вода. Это затрудняет выполнение агротехнических приемов по обработке рекультивированных участков.

Таким образом, при рекультивации необходимо учитывать свойства техногенных земель. Для улучшения физических свойств в метровом техногенном эдафотопе при его создании необходимо проводить 2–3 послойных рыхления выровненной поверхности орудиями чизельного типа или применять глубокорыхлители.

Многолетнее изучение физических свойств рекультивированных земель показало, что разуплотнение субстратов в метровом техногенном эдафотопе происходит при совместном взаимодействии агротехнического (различные приёмы обработки) и биологического (возделывание сельскохозяйственных культур, прежде всего многолетних бобовых трав) факторов, а также путём образования трещин сезонной деформации и в результате цикличности периодов “увлажнения–высыхания”, “набухание–усадка” и “замораживание–оттаивание”. Через 16–20 месяцев после создания рекультивированных земель физические свойства в метровом слое и величина водопроницаемости приближаются к значениям этих показателей на ненарушенных старопахотных зональных почвах.

2.4.4. Содержание гумуса и элементов питания в эдафотопях сложных биогеоценологических систем

При антропогенной отсыпке двухъярусного рекультивированного метрового слоя [плодородный слой почвы (0–40...50 см) – подстилающая потенциально плодородная порода (50...60...100 см)] формируется эдафотоп с

дифференциацией по агрохимическим свойствам этих субстратов в техногенном эдафотопе (табл. 2.2).

Плодородный слой чернозёма южного, отобранный с рекультивированного участка, содержал 1,96–1,68 % гумуса. Профильное распределение гумуса в техноземах отличается от зональных черноземов. На таких рекультивированных землях распределение гумуса бимодальное, т.е. имеет место два резко различных уровня содержания органического вещества в профиле эдафотопа: в слое 0–40 см запас гумуса 90–105 т/га, в подстилающей породе на глубине 40–100 см – 25–30 т/га. При формировании плодородного слоя почвы с чернозёма обыкновенного содержание гумуса изменяется в пределах 2,8–3,4 %, а его запас в слое 0–50 см составляет 190–210 т/га.

От запаса гумуса зависит и содержание общего азота, количество которого в слое 0–20 см составило 0,09 % и с глубиной снижалось. В такой же последовательности убывало и содержание легкогидролизуемого азота, наибольшее количество которого наблюдалось в весенний период, когда в эдафотопах достаточно тепла и влаги и, как увидим дальше, отмечается устойчивое прогрессивное развитие сложных биоценологических систем. К осени количество легкогидролизуемого азота снижается, поскольку основные его запасы расходуются в период вегетации растений.

Таблица 2.2

Агрохимическая характеристика

насыпного плодородного слоя чернозема и лессовидного суглинка

Показатель	Глубина отбора образца, см				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100

<i>Насыпной слой чернозема</i>					
1. Валовой гумус, %	1,96	1,68	0,66	0,42	0,30
2. Общий азот, %	0,09	0,08	0,05	0,03	0,01
3. Легкогидролизуемый азот, мг на 100 г породы	2,82	2,02	0,93	0,61	0,60
4. Валовой фосфор, %	0,11	0,08	0,08	0,07	0,07
5. Подвижный фосфор, мг на 100 г породы	2,67	2,25	1,71	1,58	0,91
6. Валовой калий, %	2,28	2,21	1,90	1,69	1,67
7. Обменный калий, мг на 100 г породы	36,6	23,8	23,6	22,4	22,2
<i>Лессовидный суглинок</i>					
1. Валовой гумус, %	0,95	0,52	0,45	0,32	0,28
2. Общий азот, %	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01
3. Легкогидролизуемый азот, мг на 100 г породы.	1,24	0,88	0,70	0,58	0,60
4. Валовой фосфор, %	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
5. Подвижный фосфор, мг на 100 г породы	1,80	1,40	1,07	1,40	1,10
6. Валовой калий, %	2,27	2,05	1,80	1,71	1,83
7. Обменный калий, мг на 100 г породы	33,3	29,9	26,3	24,1	26,0

Процесс образования легкогидролизуемого азота в это время затрудняется из-за недостатка влаги. В результате резко падает и численность микроорганизмов. Как показали результаты анализов, в верхнем 20-сантиметровом слое плодородной почвенной массы на 100 г навески было 2,82 мг легкогидролизуемого азота. С глубиной его количество снижалось.

Ухудшение к осени экологической обстановки в толще экотопов приводит к уменьшению количества, всех без исключения, подвижных форм питательных веществ. Эта закономерность прослеживалась всегда в процессе проведения наших исследований.

Гумус насыпного плодородного слоя почвы является источником не только общего азота, но также фосфора и калия. Поэтому содержание фосфора в пахотном горизонте с глубиной тоже уменьшалось, а количество подвижного фосфора падало с 2,7 до 2,2 мг на 100 г почвы, что отражает слабую обеспеченность плодородной почвенной массы подвижным фосфором.

Количество калия тоже зависит от содержания гумуса. Но, в отличие от

азота и фосфора, в насыпном плодородном слое почвенной массы содержится много калия, что объясняется присутствием в его толще таких минералов, как гидрослюда и полевые шпаты.

Используя классификацию, предложенную Е.В. Аринушкиной [23], можно сделать заключение о том, что нанесенный на поверхность лессовидных суглинков плодородный слой почвы средне обеспечен гидролизуемым азотом, слабо – подвижным фосфором и хорошо – обменным калием.

После отдельной выемки почвенной массы и разработки верхнего уступа карьера на дневную поверхность выносятся четвертичные отложения, представляющие собой смесь из нескольких ярусов лессовых пород. Эта смесь отличается от лессовидных суглинков, находящихся в естественном сложении. Со временем она претерпевает значительные изменения, которые происходят не только под воздействием произрастающей на суглинках растительности, но и под влиянием атмосферных факторов. При этом растения (особенно их подземная часть) выполняют особо важную роль. Они снабжают породы органическим веществом, предоставляют микроорганизмам возможность функционировать в жестких почвенных условиях и тем самым превращают почти бесплодную горную породу в биологически деятельную среду.

Длительное, 35-летнее, пребывание лессовидных суглинков в состоянии пашни способствовало значительному ее окультуриванию: увеличилось содержание гумуса и основных элементов питания, улучшились физико-химические свойства, повысился уровень биогенности и т.д. Например, в 20-сантиметровом слое пород содержание валового гумуса в 3–4 раза превышало его содержание в образцах с борта карьера и в 1,5 раза – в образцах, находящихся в паровом состоянии уже 35 лет. Следовательно, с течением времени под воздействием растений идет интенсивное накопление элементов почвенного плодородия, причем с самой поверхности. В этом процессе немаловажную роль играют и эоловые наносы с соседних старопахотных, еще не нарушенных разработками полей.

Увеличение содержания гумуса происходит в основном за счет

разложения микроорганизмами массы корней и небольшой части пожнивных остатков. Например, люцерна 3-го года жизни накапливает в каждом кубометре неудобренных лессовидных суглинков около 1 кг воздушно-сухих корней. С глубиной масса корней уменьшается. Падает и содержание гумуса. Совместно с гумусом снижается и количество общего азота.

В верхнем 20-сантиметровом слое лессовидных суглинков легкогидролизуемого азота содержалось в 2,3 раза меньше, чем в таком же слое насыпного чернозема. С глубиной количество легкогидролизуемого азота в этом экотопе еще больше снижалось. Валового и подвижного фосфора в лессовидных суглинках тоже было немного.

Обеспеченность валовым калием лессовидных суглинков хорошая: в слое 0–20 см его содержится примерно столько же, сколько и в насыпном слое массы чернозема. В образцах, отобранных из более глубоких горизонтов, содержание валового калия уменьшалось незначительно. Количество обменного калия в лессовидных суглинках находилось в пределах 24–33 мг на 100 г породы. Следовательно, лессовидные суглинки слабо обеспечены гумусом и питательными веществами, особенно азотом и фосфором.

Красно-бурые глины, как и все остальные эдафотопы биоэкологической станции мониторинга техногенных ландшафтов, входили в состав пахотной площади и поэтому подвергались интенсивному воздействию корневых систем растений. В результате многие их свойства значительно улучшились, особенно в слое 0–20 см (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Агрохимическая характеристика красно-бурой и серо-зеленой глин

Показатель	Глубина отбора образца, см				
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100

Красно-бурая глина					
1. Валовой гумус, %	0,91	0,59	0,26	0,20	0,20
2. Общий азот, %	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
3. Легкогидролизующий азот, мг на 100 г породы	0,90	0,76	0,60	0,53	0,50
4. Валовой фосфор, %	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
5. Подвижный фосфор, мг на 100 г породы	1,07	0,60	0,58	0,32	0,31
6. Валовой калий, %	2,85	2,62	1,89	1,88	1,89
7. Обменный калий, мг на 100 г породы	48,9	40,4	43,5	43,0	43,0
Серо-зеленая глина					
1. Валовой гумус, %	0,90	0,57	0,34	0,25	0,18
2. Общий азот, %	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01
3. Легкогидролизующий азот, мг на 100 г породы.	0,95	0,89	0,90	0,75	0,74
4. Валовой фосфор, %	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07
5. Подвижный фосфор, мг на 100 г породы	0,80	0,70	0,50	0,51	0,50
6. Валовой калий, %	3,69	2,57	2,37	2,29	2,28
7. Обменный калий, мг на 100 г породы	63,7	62,9	60,8	60,0	60,1

В верхнем 20-сантиметровом слое содержалось валового гумуса в 4,5 раза больше, чем в образцах с борта карьера. Общий азот в этом же слое составил 0,030 %, хотя с глубиной его количество интенсивно падало. Количество легкогидролизующего азота указывает на очень низкую обеспеченность пород этим элементом.

Красно-бурые глины плохо обеспечены не только азотом, но и валовым фосфором. Подвижного фосфора эти породы содержат также мало. Его количество в слое 0–20 см в 14–16 раз меньше, чем в перегнойно-аккумулятивном горизонте зонального южного чернозема. Одной из причин низкой обеспеченности красно-бурых глин подвижным фосфором является их минералогический состав, где очень много монтмориллонита. “Если в почве много монтмориллонита, – писал Н.И. Горбунов [24], – и мало других минералов и гумуса, то она имеет ряд неблагоприятных физических свойств ..., высокую гидрофильность и высокую способность к поглощению фосфат-ионов”. Эти породы карбонатные, и фосфор переходит в трудноусвояемые

формы. Поэтому обеспеченность красно-бурой глины подвижным фосфором для большинства сельскохозяйственных и лесных культур является очень низкой. Однако красно-бурые глины содержат достаточно много валового калия и, в отличие от лессовидных суглинков, больше обменного калия, что свидетельствует о возможностях этой породы обеспечивать растения калийным питанием. Следовательно, в красно-бурых глинах в первом минимуме по обеспеченности растений питательными веществами находятся азот, затем фосфор.

Серо-зеленая глина в течение 35-летнего пребывания на дневной поверхности значительно окультурилась: улучшились ее водно-воздушные и агрохимические свойства. Так, в верхнем 20-сантиметровом слое этого эдафотопы содержалось 0,90 % валового гумуса, количество которого с глубиной уменьшалось.

Запасы общего азота в серо-зеленой глине находились на уровне запасов красно-бурой глины, а количество легкогидролизуемого азота в слое 0–20 см составило всего 0,95 мг на 100 г породы, уменьшаясь с глубиной.

Содержание валового фосфора было незначительным, а количество подвижного фосфора оказалось даже ниже, чем у красно-бурой глины: в слое 0–20 см было всего 0,80 мг на 100 г породы. Такое положение обусловлено наличием в породах кальция, который способствует переходу подвижной фосфорной кислоты в форму труднодоступную для растений.

Серо-зеленая глина имеет много валового калия, источником которого являются полевые шпаты и гидрослюды. В верхнем 20-сантиметровом слое содержалось 3,69 % калия с последующим уменьшением его количества в нижерасположенных слоях. По обменному калию эти породы относятся к разряду высоко обеспеченных [23]. С глубиной его количество практически не снижалось. Следовательно, серо-зеленая глина содержит мало азота и фосфора, но зато хорошо обеспечена калием.

Итак, из рассмотренных нами экотопов наиболее благоприятными физико-химическими свойствами для устойчивого развития сложных

биогеоценологических систем располагает насыпной плодородный слой чернозема. По своим агрохимическим показателям только этот вариант рекультивированных земель максимально приближен к показателям полнопрофильного зонального южного чернозема. К сожалению, покрыть слоем плодородной почвы все отработанные отвалы карьеров не представляется возможным, так как снятого с единицы площади перегнойно-аккумулятивного горизонта для последующего нанесения на эту же площадь не хватает. В результате образуется большой дефицит в плодородной почвенной массе. Поэтому часть карьерных территорий, сложенных лессовидными суглинками, красно-бурными и серо-зелеными глинами, может быть занята сельскохозяйственными или лесными культурами, рекомендуемыми для этих экотопов.

При сравнении этих экотопов с зональным южным черноземом оказалось, что горные породы содержат почти в 2 раза меньше валового фосфора и в 4–5 раз меньше валового гумуса. Особенно мало в них азота.

Следовательно, изучаемые нами экотопы по своим физико-химическим свойствам существенно отличаются от зональных южных черноземов очень низким уровнем плодородия. Прежде всего, они содержат очень мало азота, что подсказывает необходимость внедрения специальных севооборотов, насыщенных многолетними бобовыми травами. Нетоксичность этих грунтов и наличие в них подвижных форм калийных и фосфорных соединений способствуют быстрому росту именно азотусваивающей растительности. Ее густой, устойчивый травянистый покров предохраняет породы от перегрева в наиболее жаркие дни лета [25] и создает благоприятные условия для устойчивого развития сложных биогеоценологических систем.

Необходимо отметить наличие остаточного плодородия, наблюдающегося в лессовидных суглинках, в красно-бурных и серо-зеленых глинах. Такое плодородие унаследовано от древнего почвообразования, через которое прошли лессы и мелководные осадочные породы, сохранив при этом запасы энергии и биофильные элементы, накопленные ранее.

2.4.5. Водно-солевой режим рекультивированных земель

В процессе добычи полезных ископаемых открытым способом формируются новые гидрогеологические и гидрологические условия. А именно: ликвидируются водоносные горизонты, понижается уровень грунтовых вод, сложный рельеф поверхности отработанной части карьеров способствует неравномерному распределению влаги и т.д. Для возобновления и устойчивого развития сложных биодинамических процессов в толще эдафотопов огромное значение имеют водные свойства. Особенно важно знать максимальную гигроскопичность, предельно полевую влагоемкость, влажность увядания растений и запасы продуктивной влаги, которые определялись нами регулярно в течение 1973, 1974, 1978, 1984, 1990, 2000 и 2006 годов. Их средние значения приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Некоторые водные свойства экотопов в слое 0–40 см, % *

Эдафотоп	Максимальная гигроскопичность	Влажность увядания	Полевая влагоемкость	Продуктивная влага
1. Насыпной слой чернозема 0–40 см	<u>8,53</u> 7,98–10,01	<u>11,43</u> 10,69–13,41	26,45	<u>15,02</u> 15,76–13,04
2. Лессовидный суглинок	<u>7,61</u> 6,28–8,06	<u>10,20</u> 8,41–10,80	20,64	<u>10,44</u> 12,23–9,84
3. Красно-бурая глина	<u>14,96</u> 14,05–16,22	<u>20,05</u> 18,83–21,73	29,86	<u>9,81</u> 11,03–8,13
4. Серо-зеленая глина	<u>20,74</u> 19,45–22,08	<u>27,79</u> 26,06–28,52	39,43	<u>11,64</u> 13,37–10,91

*Числитель – среднее значение, знаменатель – пределы колебаний.

Максимальная гигроскопичность серо-зеленой глины оказалась самой высокой (20,74 %), что объясняется большим содержанием физической глины с преобладанием илистой фракции. Вместе с тем, высокая влагоемкость серо-зеленой глины обеспечивает формирование в ней значительных запасов продуктивной влаги (1650 т/га), которые оцениваются как очень хорошие для

произрастания сельскохозяйственных и лесных культур. Однако самый высокий показатель этой почвенной гидрологической константы принадлежит насыпному плодородному слою чернозема, где продуктивной влаги было 2000 т/га. Количество продуктивной влаги в метровом слое лессовидного суглинка и красно-бурой глины было практически равным. Такого количества влаги вполне достаточно для произрастания сельскохозяйственных и лесных культур с сильно разветвленной и глубоко проникающей корневой системой.

При определении полевой влагоемкости в метровой толще изучаемых эдафотопов методом заливаемых площадок получены данные, в которых отражается разница в их гранулометрическом составе. Например, анализы гранулометрического состава показали, что насыпной плодородный слой чернозема имеет тяжелосуглинистый гранулометрический состав, а лессовидный суглинок – среднесуглинистый. Поэтому полевая влагоемкость в метровой толще плодородной почвенной массы составила около 26 %, а в лессовидном суглинке – 20 %, что объясняется различным содержанием гумуса и физической глины в этих эдафотопах. Зависимость водных свойств от гранулометрического состава особенно наглядно проявилась в третичных глинистых отложениях, в метровом слое которых полевая влагоемкость увеличилась до 30 % в красно-бурой глине и до 39 % в серо-зеленой глине.

Следовательно, водные свойства рекультивируемых участков сильно зависят от гранулометрического состава эдафотопов. В таких условиях водообеспеченности могут произрастать и давать хорошие урожаи только культуры с сильно разветвленной и глубоко проникающей корневой системой.

2.4.6. Соленакопление в рекультивированных эдафотопах

Вскрышные рыхлые горные породы в естественном залегании характеризуются разной степенью засоленности. Поэтому количественный и качественный состав легкорастворимых солей в верхней метровой толще экотопов сильно влияет на динамику биогеоценологических систем.

Как показали исследования, в верхних горизонтах изучаемых экотопов содержится незначительное количество легкорастворимых солей. Их концентрация начинает увеличиваться только с глубины 40–50 см. Верхняя же 40-сантиметровая толща является практически незасоленной. Так, сухой остаток в водной вытяжке из этого горизонта в ненарушенном зональном черноземе составил в среднем 0,07 %, а в насыпном слое из этой же почвы – 0,11 %. Слабое засоление здесь отмечено с глубины 40–50 см, откуда начинается лессовидный суглинок, подстилающий массу черноземной почвы.

Если лессовидные суглинки выносятся на дневную поверхность и служат объектом сельскохозяйственного освоения рекультивации, то их верхний слой уже за 25-летний отрезок времени тоже рассоляется и содержит незначительное количество легкорастворимых солей. Об этом свидетельствует диаграмма солевого профиля (рис. 2.1), отражающая количественное содержание легкорастворимых солей в метровой толще лессовидных суглинков.

Величина сухого остатка в водной вытяжке этих пород из слоя 0–40 см в среднем составила 0,24 %. С глубиной содержание солей постепенно возрастало. Общая сумма ионов, перешедших в водную вытяжку, колебалась в среднем от 4,85 до 16,14 мг-экв на 100 г абсолютно сухой породы.

В анионном составе преобладал сульфат-ион, количество которого с глубиной резко увеличивалось. С глубины 40 см повышалось содержание хлоридов. Среди катионов больше всего было Na^+ , содержание которого в слое 0–40 см в среднем равнялось 1,39 мг-экв на 100 г навески, а количество Ca^{2+} (0,79 мг-экв) и Mg^{2+} (0,84 мг-экв) оказалось практически одинаковым. Следовательно, по содержанию легкорастворимых солей лессовидные суглинки относятся к слабозасоленным [26].

Красно-бурая глина имела самую высокую щелочную реакцию почвенного раствора с колебаниями pH от 8,19 до 8,51. В отличие от лессовидных суглинков она является средне- и сильнозасоленной. В пределах метровой толщи этой породы сухой остаток увеличивался с 0,36 % в верхнем 20-сантиметровом слое до 0,80 % в слое 40–60 см.

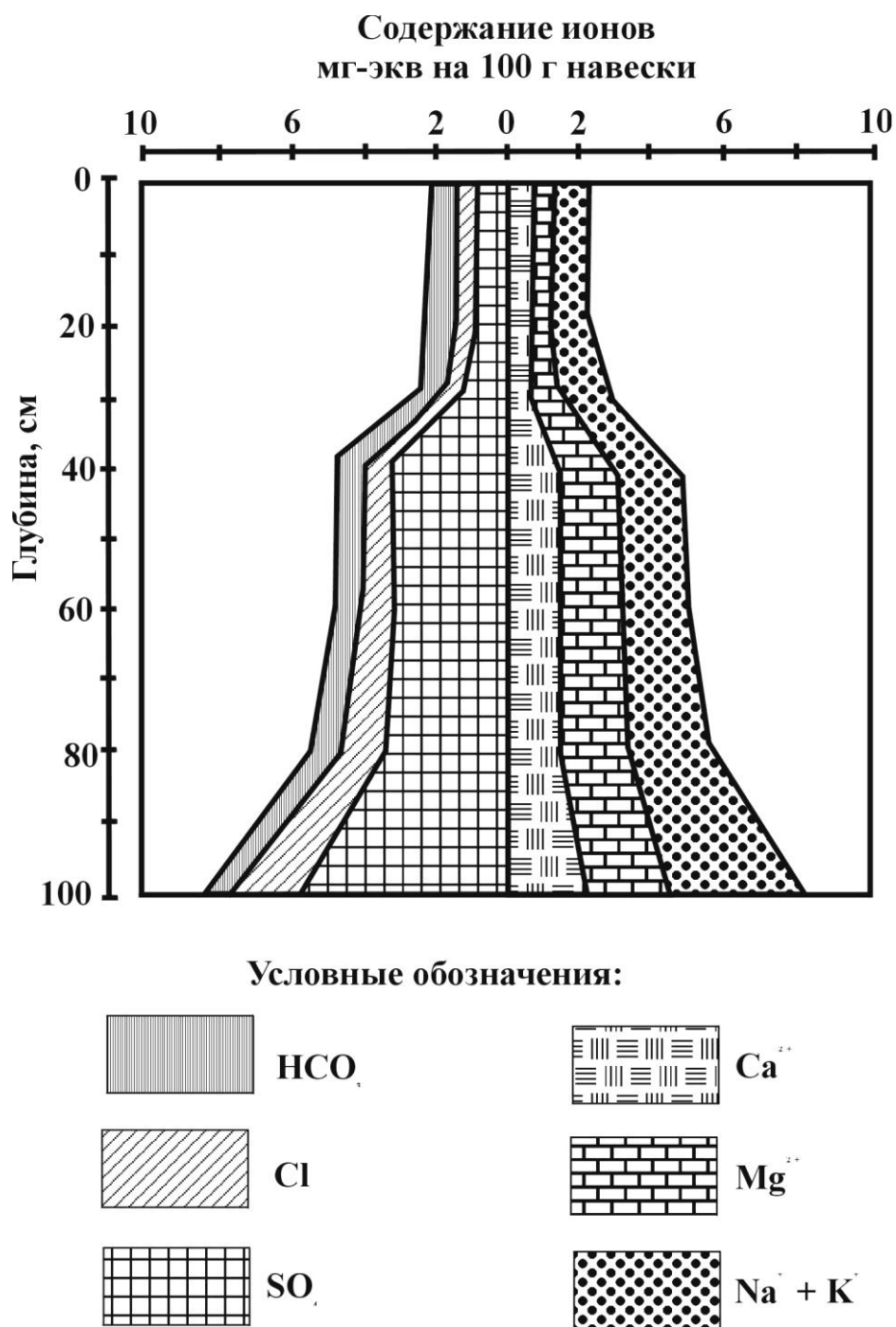


Рис. 2.1. Распределение водорастворимых солей в профиле
лессовидного суглинка

Содержание сульфат-иона начинало увеличиваться с глубины 30 см (рис. 2.2) и в слое 80–100 см уже составляло более 7 мг-экв на 100 г породы. В катионной части преобладали Na^+ и K^+ , количество которых в пахотном горизонте нарастало с 1,58 до 4,62 мг-экв на 100 г породы. Содержание Ca^{2+} и Mg^{2+} было незначительным. Эти и другие особенности красно-бурых глин

оказывали большое влияние на функционирование корневых систем растений и жизнедеятельность почвенных микроорганизмов.

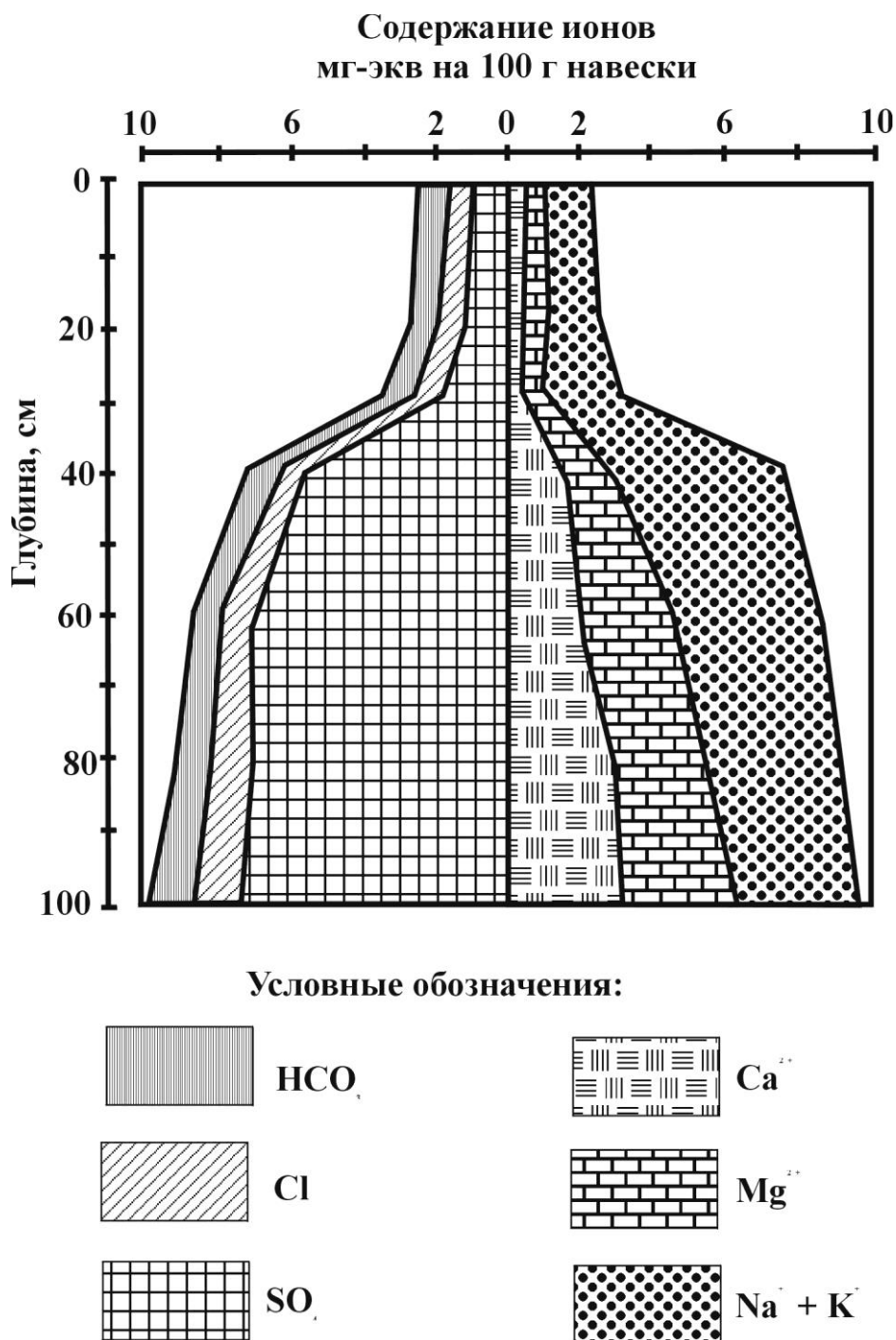


Рис. 2.2. Распределение водорастворимых солей в профиле
красно-бурой глины

Серо-зеленая глина, в отличие от всех остальных экотопов, отличалась слабощелочной реакцией водной вытяжки из верхнего 40-сантиметрового слоя,

что имеет большое значение для устойчивого развития сложных биогеоценологических систем.

Необходимо отметить и слабую засоленность этого эдафотопа уже с самой поверхности. Величина сухого остатка в пахотном горизонте находилась в пределах 0,25–0,52 %, максимальный показатель которого оказался на глубине 30–40 см. Общая сумма водорастворимых ионов составила 7,44–16,65 мг-экв на 100 г породы (рис. 2.3).

При определении степени засоленности почв принято пользоваться классификацией, предложенной Н.И. Базилевич и Е.И. Панковой [26]. Согласно этой классификации, порог токсичности для большинства растений, произрастающих в условиях засоленных почв в Средней Азии, определяется ионом хлора, если его концентрация превышает 0,3 мг-экв на 100 г почвы.

В исследуемых нами экотопах содержание ионов хлора превышало даже с поверхности в 3 раза, а на глубине 30–40 см в 8 раз (у серо-зеленых глин) величину, названную указанными авторами порогом токсичности. Тем не менее многие сельскохозяйственные культуры, произрастающие на рекультивированных землях, обеспечивают получение хороших урожаев. Например, урожаи сена люцерны и эспарцета, возделываемых на серо-зеленых глинах, даже превосходили их урожаи, получаемые на зональных полнопрофильных черноземах.

Следовательно, порог токсичности для многих растений, произрастающих в условиях техногенных ландшафтов степного Приднепровья, находится выше, чем 0,3 мг-экв на 100 г породы.

Результаты анализов водных вытяжек изучаемых нами эдафотопов показали, что они относятся к хлоридно-сульфатному типу засоления. Поэтому в таких местах следует возделывать те виды сельскохозяйственных культур, которые устойчивы к хлоридно-сульфатному засолению.

Как показали анализы, глубина расположения солей в толще экотопов обуславливается гранулометрическим составом: в красно-бурой и серо-зеленой глинах, как более тяжелых, соли обнаруживались уже в слое 30–40 см, а в

лессовидном суглинке – с глубины 80 см.

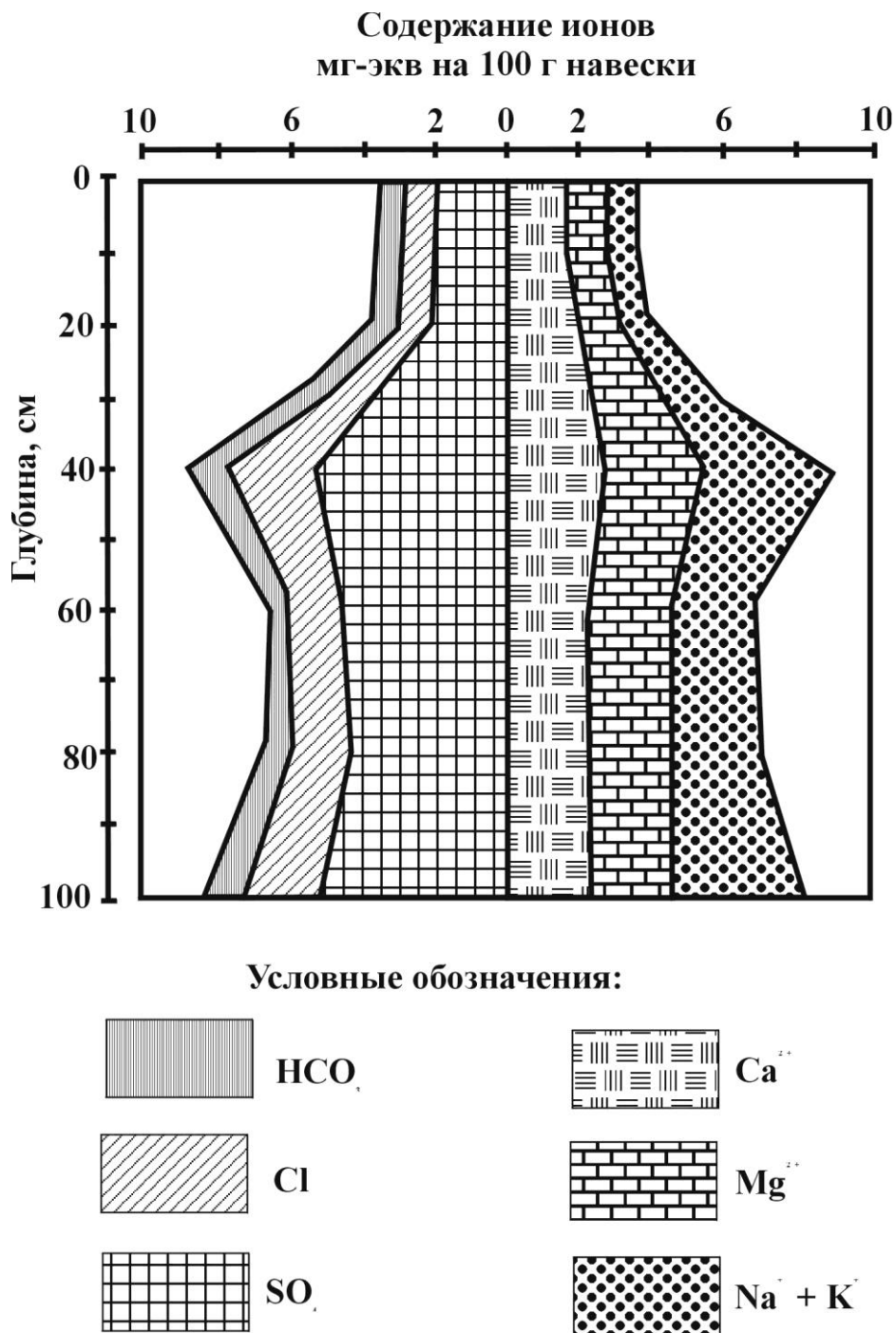


Рис. 2.3. Распределение водорастворимых солей в профиле
серо-зеленой глины

Рассоление верхнего слоя и накопление легкорастворимых солей на определенной для каждого эдафотопы глубине создает условия для образования различных по степени засоления микросред, оказывающих значительное

влияние на устойчивое развитие биоценологических систем.

Проведенные исследования позволяют утверждать, что в глинистых экотопах наблюдается недостаток питательных веществ, особенно азота и отчасти фосфора, а также повышенное количество легкорастворимых солей, которые могут оказывать воздействие на развитие биоценологических систем. Тем более что глинистые отложения надрудной толщи по степени засоления располагаются в интервале от средnezасоленных до солончаков.

За 35-летний период под воздействием атмосферных осадков произошло перемещение водорастворимых соединений, обусловленное прежде всего особенностями гранулометрического состава. Это обстоятельство и способствовало формированию специфического солевого профиля в толще рекультивированных литоземов, сложенных с поверхности вскрышными породами.

3. ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ НА ЛИТОЗЕМАХ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ

Что есть почва?

*Сие не первообразная и не первозданная материя,
а тело из горных скал, ветром и натуральным
царством животных и растений образованное.*

М.В. Ломоносов

В.В. Докучаев как геолог, имея поручение от Вольного экологического общества России исследовать чернозёмную зону, уже в первых работах утверждал, что почва является самостоятельным природным телом и есть результат совокупного влияния факторов почвообразования: климата, растительности и материнской породы [17]. Вследствие многовекового биогеохимического круговорота химических элементов в верхней части земной поверхности образовалась почва – результат устойчивого развития зональных экосистем с характерным экологическим равновесием.

В.Р. Вильямс наиболее полно после Докучаева утвердил биологический фактор образования, эволюции почв и проявлении главнейшего свойства эдафотопов – их плодородия [27]. При этом почвообразование является сложным сочетанием прямо противоположных процессов – синтеза и распада органических соединений, захвата минеральных элементов питания корнями и вымывание их из поверхностной земной плёнки в результате изменения окислительно-восстановительных условий в реакциях среды образования комплексных соединений, а также электростатического равновесия коллоидной системы.

Крупнейшим, исключительно важным вопросом теоретического и практического почвообразования явилась биохимия В.И. Вернадского с гигантской ролью живого вещества в истории биогеохимических процессов, т.к. биота даже “может разделить изотопы отдельных химических элементов” и является “геохимической энергией жизни” [5].

В.А. Ковда, развивая идеи сопоставления геологического и биологического круговорота веществ в природе, писал, что “суммарный вес и объем метаболитов, т.е. продуктов прижизненного обмена организмов и среды, количественно далеко еще не выяснены. Но они превышают биомассу живого вещества в несколько раз” [11]. Он также отметил, что биомасса суши, как биохимический агент в биосфере, составляет $3 \cdot 10^{12}$ – $1 \cdot 10^{13}$ тонн.

Литоземы, антропогенно сложенные с поверхности вскрышными лессовидными суглинками, красно-бурой и серо-зелёной глиной, следует рассматривать как открытые техноэкосистемы. Свойства таких термодинамических систем, а также геохимия современного единого почвообразовательного процесса определяются прежде всего изменением физических параметров (давление, температура, свет, объем, наличие кислорода, CO_2 и воды) на поверхности восстановленного участка и в геологической толще залегания этих пород, а также на границах разнородных геосфер: атмосферы, гидросферы, литосферы.

А.Е. Ферсман писал, что “область геохимических процессов гипергенного типа характеризуется ... исключительным непостоянством определяющих ход реакции факторов, ролью жизненных процессов и процессов технической деятельности человека” [3].

Агрогеохимия макро- и микроэлементов на рекультивированных землях обуславливается антропогенной стратиграфией профиля эдафотопов, миграцией химических элементов по слоям восстановленных земель, видовым составом культур в период биологической рекультивации, трансформацией соединений, транслокацией у растений и микроорганизмах, физиологическими и биохимическими функциями отдельных химических элементов, внесением органических и минеральных удобрений, природными условиями района (региона).

В процессе изучения вскрышных горных пород (лабораторные и вегетативные исследования) и их 40-летнего сельскохозяйственного освоения нами открыты эколого-биологические эффекты и методы индикации

современного культурного почвообразования, которые являются показателями устойчивого развития сложных техноэкосистем [20, 28, 29].

Эволюционный путь развития культурного почвообразовательного процесса увеличивается в процессе биологического (фитомелиоративного) этапа рекультивации. Кардинальным моментом этой эволюции есть, во-первых, перевод элементов из рассеянного состояния в корнеобитаемом слое бобовых агроценозов в состояние биогенного аккумуляирования в верхнем 40-сантиметровом слое литоземов; во-вторых, образование поливалентных органоенов различного физиологического значения. “Каждое сгущение жизни есть область создания определенных химических продуктов”, – писал В.И. Вернадский [5].

В предлагаемых рекомендациях приводятся новые результаты системно-экологической оценки рекультивированных эдафотопов.

3.1. Фотозлектрический эффект на литоземах

Ежегодная энергия Солнца, которую принимает Земля, составляет $5,5 \cdot 10^{24}$ Дж, мощность $1,5 \cdot 10^{18}$ кВт. Поток энергии, поступающей на верхнюю границу атмосферы, назван солнечной постоянной. Она равна $1,368$ кВт/м². Средняя интенсивность солнечного излучения, которое достигает земной поверхности, составляет 342 Вт/м². В Украине интенсивность солнечной радиации изменяется с севера на юг с 115 – 145 Вт/м² на Полесье до 185 – 215 Вт/м² в Крыму [30].

Под действием света в техноэкосистемах и антропогенных технолитоземах могут происходить реакции окисления, разложения, синтеза и др. Все гелиохимические реакции в газах, жидкостях и твёрдых телах можно разделить на пять основных групп: энергетические, биосинтетические, каталитические, морфологические и информативные. Теория гелиохимических реакций развивается на основе квантовой теории света.

Экологическая роль солнечной радиации в современном почвообразовании на антропогенных литоземах, которые являются составной частью техноэкосистем, обусловлена фотохимическими реакциями и тепловым балансом дневной поверхности рекультивированных земель.

Среднемноголетнее значение суммарной ФАР для зоны Степи Украины составляет 2374 мДж/м², в т.ч. за вегетационный период (апрель–сентябрь) 75 %. При условии, что 30 % солнечной радиации теряется на испарение, 50 % – на поток тепла между дневной поверхностью и верхними слоями литоземов вглубь техногенного эдафотопы, то примерно 800–830 мДж/м² видимого излучения имеют энергетический, каталитический и биосинтетический эффект.

Если принять количество энергии для спектра 280–470 нм в среднем 100 ккал/г-атом, а эффективность возбуждения фотохимических реакций только 1 % [15], то за вегетационный период (апрель–сентябрь) в поверхностном слое антропогенно сформированных литоземов (лессовидные суглинки, красно-бурая и серо-зелёная глины) аккумулируется энергия, равная $8,2 \cdot 10^6$ термохимических килокалорий. Такого количества энергии достаточно для инактивации 1312 кг кислорода или 1476 кг воды. Инактивированные O₂ и H₂O колоссально влияют на неорганический круговорот веществ в техноэкосистемах на первых этапах их развития, а с течением времени (самозаращение, биологический этап рекультивации) и на связь с процессами органической жизни (микроорганизмы, агроценозы).

Почвообразование (сложный антиэнтропийный процесс) на антропогенных вскрышных породах следует рассматривать как функциональную зависимость факторов от скорости процессов в динамическом ряду: антропогенная материнская порода → промежуточные вещества (метабильное состояние) → продукты реакции → переходные состояния → накопление экологических ресурсов → формирование примитивных молодых почв (естественное зарастание отвалов) и интенсивное формирование “антропогенного горизонта” при сельскохозяйственном использовании литоземов в фитомелиоративный период.

Выявление и учёт среднего звена экзогенных процессов превращения в современных антропогенных материнских породах чрезвычайно сложная проблема, так как, в отличие от процесса исходные реагенты → продукты реакции, промежуточные продукты выделить и изучить удаётся очень редко. Перспективными направлениями в изучении современного промежуточного состояния в системе почвообразования является фосильно-четвертичная / третичная матрица “холодного” лессогенеза и теплого породообразования [31] далекого прошлого вскрышных пород, а также “молекулярное почвоведение” [31]. Они предусматривают изучение роли микропроцессов в формировании микросвойств, которые впоследствии проявляются на макроуровне, особенно в период биологического этапа рекультивации на литоземах.

3.2. Каталитические процессы в литоземах

В лессовидных и красно-бурых суглинках, красно-бурой и серо-зеленой глинах огромную роль в каталитических процессах почвообразования будут играть минеральные коллоиды.

Электролитические явления коллоидно-дисперсных систем, открытые Ф. Рейссом, получили название электрофореза. Благодаря постоянному отрицательному заряду плиоцен-неогеновые глины способны к интенсивному поглощению катионов на стадии современного химического выветривания.

Сложность и постепенность современного химического выветривания в техноэкосистемах обусловлена образованием “диссоционных систем” “метабильных соединений” [3] и наличием современного кислородного потенциала в кинетике гетерогенных процессов на рекультивированных литоземах.

Проводя общий обзор коллоидных систем гипергенеза, А.Е. Ферсман определил, что “геохимически наиболее типичные коллоиды для следующих элементов: Si, Al, Fe, Mn, P, ...” [3].

В техноэкосистемах степной зоны Украины, сформированных третичными и четвертичными отложениями, наибольшая часть в валовом химическом составе приходится на долю соединений кремния – 42–48 % в глинах и до 95 % в кварцевом песке. Полуторные окислы алюминия и железа по количественному составу занимают соответственно второе и третье места. Отметим, что эти элементы входят в состав вторичных минералов пород и сосредоточены в их коллоидных фракциях.

Процессы, протекающие при участии биологических катализаторов – ферментов, характеризуются большой специфичностью и значительно отличаются от коллоидного химического микрогетерогенного катализа.

Биологические катализаторы во много раз превосходят активность химических катализаторов. Например, неорганический катализатор – атомная платина – уступает ферменту каталазе по активности в расчёте на 1 активный центр в тысячи раз; 1 моль фермента сахарозы способен расщепить 1000 моль/с свекловичного сахара; 1 г кристаллического ревина свёртывает 72 т молока. Фермент пероксидаза (ускоряет окисление субстрата) проявляет свою активность при разбавлении 1 мас. ч. фермента в $5 \cdot 10^8$ мас. ч. воды.

Ферменты в почвах играют важную биогеохимическую роль. Будучи мощными катализаторами, они обеспечивают главнейшую общепланетарную функцию – разрушения первичного органического вещества и синтеза вторичного, обогащения почвы биогенными элементами и гумусом. Тем самым ферменты участвуют в осуществлении важнейших биогеоценологических функций поверхности техногенной литосферы – функции катализатора биохимических процессов и функции трансформатора веществ и энергии, находящихся в биогеоценозе или поступающих в него. Осуществляя функциональные связи между эдафотопом и населяющими его живыми организмами через механизмы вещественно-энергетического обмена, ферменты способствуют поддержанию целостности биогеоценоза (техноэкосистемы).

Известный русский ученый Ф.Х. Хазиев [32] считает, что в ферментативной активности почв четко отображены не только определенные

экологические условия, но и некоторые особенности почвообразования. С таким выводом согласна и Т.Н. Келеберда [33], проводившая исследования в Донецкой области на техногенных отвалах разного возраста и установившая, что активность ферментов хорошо отображает эволюцию почвообразовательного процесса и является надежным индикатором изменения плодородия эдафотопов путем фитомелиорации.

В свежих образцах вскрышных пород, отобранных нами на разной глубине разрабатываемых уступов карьера, ферментативная активность субстратов (уреаза, фосфатаза, инвертаза) изменялась с глубиной от показателя “следы–очень бедная” в лессовидных суглинках до полного отсутствия гидролитических ферментов в красно-бурой и серо-зелёной глинах.

Направление и интенсивность биохимических процессов в верхнем слое техноэкосистем (самозаращение отвалов, техноземы, литоземы) зависят от активности гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов. Высокое отношение ферментов инвертазы к каталазе в техногенных литоземах под бобовыми агроценозами свидетельствует о том, что в породах преобладают реакции гидролиза сложных органических соединений с высвобождением, особенно в верхнем корнеобитаемом слое, компонентов минерального питания. За 22-летний период самозаращения отвала слой 0–1 см смеси пород из лессовидного суглинка и древнеаллювиальных песков под естественным фитоценозом имел активность сахарозы в 9 раз, фосфатазы – в 13, уреазы – в 36, каталазы – в 1,5 и дегидрогеназы в 72 раза больше, чем второй (морфологически отмечен) слой 1–6 см. Общее количество микроорганизмов составило 128,1 млн, а число олигонитрофилов возросло до 624 тыс. на 1 г абсолютно сухой навески [28].

Несмотря на относительно небольшую, динамическую за вегетационный период, массу микроорганизмов в слое 0–20 см, которая на литоземах примерно в $1,75 \cdot 10^8$ раз меньше массы минеральной части пород, ферментативную активность субстратов в техноэкосистемах необходимо использовать как показатель развития современного почвообразования на благоприятных

эдафотопов (лессовидные суглинки, красно-бурая и серо-зеленая глины) или диагностики начальных деградационных процессов во вскрышных породах. Микроорганизмы чутко реагируют на экологические условия среды обитания.

Огромный биохимический эффект в современном почвообразовании на вскрышных породах обусловлен качественными показателями микроорганизмов. Например, химический состав бактерий на 40–70 % представлен белками-ферментами. Исследованиями [11, 37] установлено, что целлюлозоразрушающие микроорганизмы активно выделяют аминокислоты. В культуральном растворе обнаружено 20 аминокислот, в т.ч. у бактерий – 12, у актиномицетов – 18 и у грибов – 6. Наиболее часто встречаются аланин, глютаминовая и аспаргиновая аминокислоты, лизин, гистидин и др.

Таким образом, на первых этапах формирования техногенных экосистем главную роль играет ферментативная активность, которая является стартовым биотическим компонентом. После инокуляции эдафотопов спорами микроорганизмов, занесенных с расположенных рядом природных экосистем, постепенно создаются условия благоприятные для функционирования растений. Со временем микроорганизмы и корневые системы растений, которые находятся в тесном взаимодействии с активностью ферментов, образуют единую, неразрывную и очень сложную биогеоценотическую систему, которая постоянно функционирует в толще эдафотопов. При этом уровень ферментативной активности стабилизируется, становится независимым от сезонных колебаний численности микроорганизмов и уже определяется ферментным пулом, который отображает качественные показатели техногенных эдафотопов, особенно литоземов.

На основании этого можно утверждать: во-первых, устойчивое развитие сложных рекультивированных уже с 2–3 года биологического (фитомелиоративного) периода техноэкосистем; во-вторых, возобновление биохимического потенциала вскрышных пород способствует повышению экологической устойчивости культурфитоценозов на литоземах, которые могут противостоять жестким условиям антропогенных эдафотопов и нарушенному

экологическому балансу питательных веществ по сравнению с зональными почвами.

3.3. Азотфиксирующий эффект многолетних бобовых трав на литоземах

Азот – элемент жизни и плодородия – является “самым могущественным двигателем в процессах развития, роста и творчества природы” [35], но в переводе с греческого – непригодный для жизни. В то же время протеин – первый.

Азот, как и углерод, водород, кислород, входят в альфа-группу макробиогенных элементов. Зарождение почвообразовательного процесса и устойчивое развитие техноэкосистем будет определяться энергетикой биохимических этапов круговорота азота, а также продолжительностью фитомелиоративного (биологического) этапа рекультивации.

В рекультивированных литоземах при образовании природных растворов с участием азота, а в фитомелиоративный период интенсивное поступление молекулярного N_2 в клубеньковые бактерии, в которых с участием ферментативного комплекса нитрогеназа катализируется АТФ зависимая реакция восстановления атмосферного N_2 до NH_4^+ , на огромной границе корень–эдафотоп (одному грамму массы корней соответствует 62,6–129,0 cm^2 площади их поверхности [28]) значительно изменяются свойства и природа эдафического раствора.

Биогеохимия азота в техноэкосистемах и на рекультивированных литоземах включает: пополнение антропогенных материнских пород с атмосферными осадками (незначительные масштабы); физико-химическую фиксацию атмосферного азота (симбиотически и несимбиотически фиксированный азот бобовыми и др.); аммонификацию (азотсодержащие соединения разлагаются микроорганизмами до NH_3 или в растворе ион аммония NH_4); нитрификацию (окисление NH_4 до $NO_2^- \rightarrow NO_3^-$);

денитрификацию ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$); дефиксацию NH_4^+ глинистыми минералами (радиус ионов аммония сближается с глинистым минералом калием по А.Е. Ферсману [3]); смыв азотсодержащих соединений из надземной части растений (процесс изучен мало, однако имеются основания считать, что он может протекать в значительных масштабах с учетом противоположного процесса – поглощения азота сельскохозяйственными культурами при внекорневой подкормке).

Энергетика несимбиотического и симбиотического процессов азотфиксации в техноэкосистемах довольно значительная. Например, аммонификация глицина протекает с энергетическим эффектом 176 ккал, окисление аммиака при нитрификации – 196, реакции денитрификации – 545–570 ккал [37]. В промышленности (при производстве аммиака, азотной кислоты и минеральных удобрений) на фиксацию 1 кг N_2 затрачивается около $6 \cdot 10^3$ ккал (при давлении 30–32 МПа и температуре около 500 °С, катализатор нагревают до 750 °С).

Способность к азотфиксации прокариотов известна с конца XIX века. Нами установлено, что симбиотический потенциал свободноживущих микроорганизмов и многолетних бобовых трав в фитомелиоративный период проявляется в полном объеме только на рекультивированных литоземах.

Свободноживущие несимбиотические азотфиксаторы в техногенных эдафотопях, в ризосфере, на поверхности корней активно используют и развиваются в мицигеле (органическая слизь) корневых волосков. По ориентировочным подсчетам С.А. Самцевича [36], корни озимой пшеницы за лето продуцируют в почву не менее 700 м³/га сложного органического слизистого вещества. По нашим подсчетам [29], несимбиотические азотфиксаторы на породах за вегетационный период аккумулируют 25–95 кг/га.

В бобовых агроценозах на рекультивированных землях, сложенных лессовидными суглинками, красно-бурой и серо-зеленой глинами, количество накопленного олигонитрофилами биологического азота в среднем за год в слое 0–40 см составляет от 38,9 до 66,1 кг/га. Следовательно, за 4–7-летний

фитомелиоративный период техногенные эдафотопы обогащаются биологическим азотом 155,6–462,7 кг/га, а в агросукцессии с “попеременно чередующихся посевов люцерны и эспарцета” [20] в течение 10 лет на красно-бурой и серо-зеленой глинах – больше 600 кг/га.

Главная роль в обогащении литоземов биологически связанным азотом принадлежит симбиозу клубеньковых бактерий с многолетними бобовыми травами.

Исследованиями ученых проблемной лаборатории по рекультивации земель агроуниверситета установлено, что люцерна и эспарцет на нетоксичных вскрышных горных породах в степной зоне Украины за 4–7-летнее хозяйственное использование трав обеспечивают суммарный урожай сена 135,3–308,8 ц/га и 103,4–164,6 ц/га (за 6 лет) соответственно. Содержание биологически фиксированного азота в надземной части многолетних бобовых трав составляет 206,8–329,2 кг/га у эспарцета песчаного и 270,6–617,6 кг/га у люцерны посевной.

Многолетними исследованиями корневых систем растений на рекультивированных землях установлено [28], что люцерна посевная в метровом слое техногенных эдафотопов формирует 53,5–98,8 ц/га (лессовидные суглинки), 78,7–105,4 (красно-бурая глина) и 81,4 ц/га (серо-зелёная глина), эспарцет песчаный – 46,5–78,3 ц/га. Отметим, что раскопки корневых систем многолетних бобовых трав (2–3-й год хозяйственного использования) на глубину 2 м показали, что люцерна и эспарцет могут накапливать 100–150 ц/га и более. В отдельных разрезах на литоземах нами определена масса корней на уровне 200– 206 ц/га.

С учетом ежегодного отмирания части корневой системы бобовых трав (в расчете принято 25 % от учетной массы) и среднего содержания азота в корнях многолетних бобовых трав (люцерна и эспарцет) на уровне 1,44 % биологический азот, который поступает в метровый слой эдафотопа с корневой системой, после 4–7-летнего возделывания находится на уровне 133,9–415,8 кг/га.

Корневая система люцерны на одно растение третьего года жизни в слое 0–100 см формирует 24–128 шт. клубеньковых бактерий, средняя масса которых составляет 0,05–0,32 г. Количество и масса клубеньков у эспарцета находится в пределах 28–131 шт. и 0,18–0,6 г соответственно [28].

Проведенные нами расчеты (среднее количество клубеньков на одном растении принимали равным 77 шт., средняя густота многолетних бобовых трав за 4 года – 5 млн/га; масса среднего количества клубеньков 0,3 г; коэффициент клубеньков к средним двум укосам зеленой массы бобовых будет $1: 0,8 = 1,8$, содержание сухого вещества в клубеньках 1 %, содержание азота в клубеньках – 2,56 %) показали, что клубеньковыми бактериями в техногенном эдафотопе глубиной 100 см вовлекается в биогенный круговорот до 2128 кг/га атмосферного азота.

Расчетная величина биологической фиксации азота в четырехлетнем фитомелиоративном севообороте (далеко не полная, нами только на 20 % увеличено расчетное количество азота за счет неучтенных корневых волосков, количество которых составляет от 2 до 100 шт. на 1 мм^2 поверхности [37]; измочаленных клубеньков при отмывке корней; прижизненных корневых выделений; количество клубеньков на 1 растение, безусловно, динамичный показатель в онтогенезе, потерь при уборке и отавы после ежегодного последнего укоса) многолетними бобовыми травами на вскрышных породах достигает 3149– 4348 кг/га. Обогащение техногенного эдафотопа биогенным азотом в звене севооборота: многолетние бобовые травы 4–7 лет – пар составляет на уровне 2400–3000 кг/га.

Чистый азотфиксирующий эффект биофактора на рекультивированных землях можно проиллюстрировать прибавкой урожая озимой пшеницы, в звене севооборота 4–7 лет многолетние бобовые травы–пар–озимая пшеница, которая составляет по нашим данным 30,4–39,4 ц/га (при пионерном посеве зерновой культуры на породах 3,5–8,4 ц/га).

После двух фитомелиоративных стадий в период биологической рекультивации на литоземах урожайность зерновых колосовых культур на

породах составила 27,3 ц/га, а в субстратах осталось количество “...жизненных ресурсов, которого хватило, чтобы в сумме за 9 лет последствий повысить урожаи зерна озимой пшеницы и ярого ячменя на 73 ц/га” [20].

Обобщение данных в научной литературе, а также наш опыт биологической рекультивации дают основание полагать, что основные фонды биологического азота в литоземах необходимо формировать за счет симбиотической фиксации атмосферного N_2 системой *Fabaceae + Rhizobium*. Фитомелиоративный эффект биологической рекультивации (обогащение эдафотопы азотом) нами впервые установлен расчетным путем в размере до 3000 кг/га (вероятно и более). Ежегодный круговорот азота в течение 4–7-летнего возделывания бобовых трав на литоземах достигает 1086 кг/га и более.

3.4. Биохимия углерода в литоземах

Во вскрышных четвертичных горных породах содержится незначительное (следы – 0,1–0,3 %) количество органического вещества (химико-аналитическая величина $C_{орг}$, %; $C \cdot 1,724 = C_{орг}$). Исключение составляют лишь черные сланцевые глины, имеющие в своем составе до 9–14 % и более фоссилизированного органического вещества.

Основатель почвоведения профессор В.В. Докучаев [17] сформулировал понятие о почве как “самостоятельном природно-историческом теле”, которое у В.И. Вернадского [5], А.Е. Ферсмана [3] на основе биогенеза и педогенеза приобрело биокосное значение, а факторы почвообразования принимают участие в формировании эдафотопы вещественно-энергетическими показателями.

Живое вещество биосферы по В.И. Вернадскому выполняет основные функции – газовую, концентрационную, окислительно-восстановительную, биохимическую – и, наконец, “три биогеохимических принципа” [5]. Живое

вещество в литоземах (микробоценозы–простейшие сингенетические сукцессии микроценозов–пионерные растения–фитоценоз (агроценоз)–агроэкосистема в период биологической рекультивации), которое с течением времени превращается в гумусовую субстанцию с четко выраженными коллоидно-химическими свойствами, представляет ту биогеохимическую функцию, которая сопряжена с изучением превращений от живых форм к ископаемым и так гениально сформирована В.И. Вернадским.

Быстрый биосферный цикл углекислоты в процессе фотосинтеза с образованием живого вещества автотрофами, с одной стороны, переходит в медленный цикл минерализации корневой системы гетеротрофным биофактором, который обеспечивает накопление $C_{орг}$ (детрита, “молодого” гумуса) в литоземах, с другой стороны. По сути дела, весь цикл углерода – это круговорот углекислоты, временно принимающей те или иные химические формы в различных оболочках биосферы.

Углерод – удивительный биогенный элемент. В зоне исторических геохимических барьеров (залегания угля, нефти, сланцев и др.) он был изъят из биосферного круговорота (ныне от сжигания горючих ископаемых увеличивается количество CO и CO₂ в воздухе). В настоящее время автотрофы ежегодно фиксируют, в пересчете на углерод, $75 \cdot 10^9$ тонн углекислого газа и образуют $5 \cdot 10^{10}$ тонн органических веществ, главным образом углеводов. Механизм, который связывает углерод и космическую энергию, по выражению В.А. Ковды, “поразительно эффективен” [11].

В биогенном круговороте углерода участвуют только органические соединения (доля углерода в составе сухих веществ растений составляет 45 %) и двуокись углерода. Вся цепь невероятно сложных и быстрых химических процессов при фотосинтезе осуществляется для того, чтобы обеспечить экосистему энергией. С биогеохимическими циклами связаны циклы кислорода, азота, фосфора, серы.

Углерод и кислород – два биофильных элемента, играющих важнейшую роль в биосфере. Основным “потребителем” двуокиси углерода в природе

является фотосинтез, продуцентом кислорода является также фотосинтез, а хранителем в разомкнутом биосферном цикле углерода – живое вещество, “благородная пленка” – гумусовая оболочка суши, органическое вещество мелководий и океанов и др.

Нам представляется, что современный биогенный поток углерода за фитомелиоративный период на литоземах, с его учетом затрат на азотфиксацию, находится на уровне $3,7-5,2 \cdot 10^4$ кг/га [37]. При отношении у многолетних бобовых трав надземной массы к корням (1:2) в системе техногенный эдафотоп–растение в биогенный круговорот вовлекается $2,5-3,4 \cdot 10^4$ кг/га углерода.

Исходя из этого количественного показателя, мы можем утверждать, что биогенный углерод органических остатков в породах используется для зарождения фрагментов (ядерные, периферийные) различных, сугубо эдафических гумусовых веществ, которые образуются при микробиологическом разложении корней многолетних бобовых трав.

Антропогенная динамика гумусообразования на литоземах составляет за фитомелиоративный период примерно 0,1 % и более за год возделывания люцерны посевной или эспарцета песчаного.

3.5. Энергетика современного почвообразования на рекультивированных литоземах

“Почвообразование – это сложный антиэнтропийный биогеофизико-химический процесс экзогенного превращения на поверхности Земли вещества и энергии...” [31].

В контексте системы парадигмы В.В. Докучаева “четвертого царства природы” [17], В.И. Вернадского “благородной пленки” [5] – почва есть функция факторов почвообразования во времени. Проблемная лаборатория по рекультивации земель ДГАУ с 1971 г. в стационарных условиях изучает современный почвообразовательный процесс на вскрышных породах

(лессовидные суглинки, красно-бурая, серо-зеленая и черная сланцевая глины) и его антропогенную направленность (коррекция) с учетом агротехнических приемов в исторически короткий фактор времени (1962–2010 гг.).

В многолетних стационарных опытах на литоземах, заложенных в 1971 г. [38] и продолжающихся до настоящего времени, то есть за 39 лет, суммарная продуктивность учтенной надземной массы (сено люцерны посевной, эспарцета песчаного, гороха, бобово-мятликовой травосмеси) и зерна озимой пшеницы, ярового ячменя, кукурузы составила на серо-зеленой глине 990,5 ц/га.

Общая биопродуктивность антропогенной агроэкосистемы с учетом побочной продукции и корней за этот период достигает 198 т/га. На связывание 1 г углерода затрачивается 38 кДж энергии. Если принять в растительном веществе содержание углерода, равное 45 %, то на рекультивированном эдафотопе энергетический эффект связанного углерода составляет примерно $3,4 \cdot 10^6$ МДж.

За период антропогенного сельскохозяйственного использования содержание органического вещества (молодого гумуса) в серо-зеленой глине увеличилось на 1,13 % и составило 1,31 % (при содержании в 1971 году – 0,18 % [38]).

Увеличение свежего органического вещества за фитомелиоративный период отмечено на всех породах. Органическая часть литоземов, сформированная в период биологического этапа рекультивации, это уникальная, состоящая из останков биоты экосистема, которая обладает важными специфическими свойствами.

На основании анализа современного развития гипергенных процессов в антропогенных техноэкосистемах, особенностей естественного зарастания отвалов, фитомелиорации на литоземах можно сделать вывод о том, что взаимодействие абиотических и биотических факторов обуславливает очень интенсивный естественный и особенно культурный почвообразовательный процесс.

Под интенсивностью почвообразования на антропогенных вскрышных породах мы подразумеваем скорость изменения концентрации основных биогенных элементов в литоземах за счет фитомелиорации и последующих звеньев агроэкосистем. За очень короткий исторический период (4–11 лет) в литоземах фотоавтотрофные микроорганизмы выполняют огромную средообразующую роль. Это позволило Н.Т. Масюку утверждать, что “субстраты горных пород ... преобразуются в эколого-мезотрофные (среднего плодородия) эдафотопы” [20].

После фитомелиоративного периода в литоземах формируется биогенность эдафотопы в соответствии с его физико-химическими особенностями. Стабильность развития антропогенных техноэкосистем будет определяться продуктивностью звеньев агрофитоценозов. Основными факторами коррекции продуктивности агроэкосистем на литоземах являются многолетние бобовые травы, удобрения и подбор культур, адаптированных к условиям техногенных ландшафтов.

4. ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ. МОДЕЛИ АНТРОПОГЕННЫХ ЭДАФОТОПОВ В ТЕХНОЭКОСИСТЕМАХ

*Из одного состояния земля переходит в другое.
Прежних нет свойств у нее, но есть то, чего
не было прежде.*

Кар Лукреций.

Широкомасштабные фундаментальные исследования по рекультивации земель в Днепропетровском аграрном университете намного опередили свое время в системно-экологической оценке техногенных ландшафтов и различных вариантов рекультивированных эдафотопов, создании на них устойчивых агроэкосистем, которые имеют хозяйственный (на уровне зональных ненарушенных почв) и природоохранный эффект.

В.И. Вернадский допускал возможность изменения природных экосистем: "... человечество, взятое в целом, становится мощной экологической силой" [5], но не акцентировал внимание "рационального общества", "ноосферогенеза" [39] на "революции экологического планирования" [40] устойчивого развития сложных техноэкосистем.

Современный этап научных исследований – это система антропогенных и экологических парадигм (параллельных, общих, взаимосвязанных) эволюции общества и природы. Практически спонтанное развитие техноэкосистем при открытой разработке полезных ископаемых (ежегодно перемещается в отвалы 500 млн тонн вскрышных горных пород) и медленная природная эволюция в нарушенных человеком ландшафтах, при нерегулируемом формировании отвалов, приводят к полной деградации природы. Например, когда на дневной поверхности карьера оказываются угольные пески, пиритсодержащие шахтные сланцы или другие фитотоксичные породы.

Сущность адаптированной с учетом рационального природопользования системы открытого способа добычи полезных ископаемых и рекультивации состоит в такой организации карьерных работ, при которой техноландшафт

функционирует как единая стойкая система, в которой хозяйственные подсистемы (внешние и внутренние отвалы, траншеи, промышленная зона, хвосто- и шламохранилища, рекультивированные земли и др.) практически согласованы с культурным ландшафтом, имеют хозяйственный и природоохранный эффект. В таких техноэкосистемах антропогенные процессы и их механизмы (перспектива развития региона, экоинформация направлений рекультивации, селективная разработка плодородного слоя почвы и вскрышных пород, горно-техническая и биологическая рекультивация, охрана окружающей среды и др.) – определяют использование восстановленных территорий: пашня, сенокосы и пастбища, плодово-ягодные насаждения, рекреационное, лесохозяйственные, санитарно-гигиеническое и другие направления.

Экологизация горнодобывающего производства и технология рекультивации нарушенных земель (технические, технологические и биологические аспекты) в контексте устойчивого развития антропогенных техноэкосистем должны базироваться на следующих положениях:

1. Горные работы в пределах карьерных полей необходимо подчинить селективной разработке плодородного слоя почвы (гумусовый+верхний гумусово-переходный горизонты), извлечению и перемещению в отвалы потенциально плодородных (нефитотоксичных) вскрышных пород.

2. Задачей горнотехнического этапа рекультивации является формирование техногенного ландшафта с отсыпкой потенциально плодородных лессов, лессовидных суглинков, незасоленных красно-бурых суглинков, красно-бурой и серо-зелёной глины на поверхности выровненных внутренних отвалов карьера, сформированных нарушенной литологической толщей рыхлых пород.

При проектировании рекультивированных участков для возделывания полевых культур крайне желательно создавать уклон поверхности в пределах от 0 до 1°. В случае использования восстановленных земель под лесные насаждения уклон можно увеличить до 4°.

При рекультивации внешних отвалов карьеров целесообразно использовать устройство террас, как приёма значительного сокращения планировочных работ [41]. Те же мероприятия будут относиться и к работам по выполаживанию боков конечной траншеи. В этом случае уклон поверхности откосов можно увеличить до 15–18° [42].

3. При горнотехническом этапе рекультивации необходимо строго учитывать период стабилизации отвалов (усадочные и просадочные процессы). Наибольшая величина осадения отвалов происходит в течение первых 12–18 месяцев. Она зависит от плотности пород, способа формирования отвалов, их высоты и др. Стабилизационный период усадочных процессов на выровненных техногенных ландшафтах продолжается на протяжении 5–7 лет. В этот период проводят биологическую рекультивацию сформированных литоземов [45].

4. Многолетними, широкомасштабными исследованиями установлено потенциальное плодородие у нефитотоксичных вскрышных горных пород (постулат Н.Т. Масюка: экотопический объем и биотическая емкость системы; микробиологический профиль, ферментативный пул литоземов и транслокационный процесс у бобовых трав – И.Х. Узбека). Величина потенциального плодородия вскрышных горных пород за такими алгоритмами определяется способностью самих растений и микроорганизмов использовать предоставленную экологическую среду.

На рекультивированных литоземах многолетние бобовые травы являются основой первичных консортивных связей в системе горная порода–микроорганизмы–ферменты–бобовые растения и интенсивного биогеохимического круговорота химических элементов и энергии. Общая биологическая продуктивность люцерны посевной и эспарцета песчаного (надземная масса + корни) на неудобренных литоземах составляла 9,7–10,4 т/га/год, а за 4–7-летний фитомелиоративный период – 37,0–46,8 т/га. Энергия, которая поступает в эдафотоп только с корнями многолетних бобовых трав составляет 10,4–44,8·10⁶ ккал/га.

5. Диагностическими признаками эколого-биологической оценки различных техногенных эдафотопов являются: эффект мега-, эври-, олиго- и мезотрофов, эффект инокуляции, азотфиксирующий эффект, эффект парования на литоземах, транслокационный эффект люцерны посевной и эспарцета песчаного, фитомелиоративный эффект возделывания бобовых культур на литоземах, эндодинамический эффект формирования пула микроорганизмов на вскрышных породах, эффект активности гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов.

Окислительно-восстановительные ферменты диагностируют интенсивность и направленность процессов трансформации органического вещества в толще эдафотопов. Максимальная активность дегидрогеназы (7,5 мг ТФФ на 10 г навески за сутки) и каталазы (5,1 см³ O₂ на 1 г навески за минуту) наблюдаются в слое 0–40 см под культурфитоценозами, где накапливается органический материал растительного и микробного происхождения.

Показатели активности гидролитических ферментов (инвертазы, уреазы, фосфатазы), которые способствуют интенсивному прохождению процессов накопления элементов почвенного плодородия, в эдафотопах техногенных ландшафтов в 16–20 раз превышают показатели вскрышных горных пород.

6. Транслокационный эффект люцерны посевной и эспарцета песчаного определяется характеристикой корневых систем многолетних бобовых трав (поверхность корней, см²; длина корней, см; насыщенность корнями эдафотопов, %), особенностью строения и распределения фракций корневой системы (корни диаметром > 5 мм, 5–1, 1–0,5, < 0,5 мм) люцерны посевной и эспарцета песчаного в литоземах. Клубеньковые бактерии *Rhizobium meliloti* и *Rhizobium simplex* имеют высокую экологическую пластичность, образуют огромное количество клубеньков (24–131 шт. на одно растение) и эффективно поглощают азот атмосферы.

7. На рекультивированных литоземах люцерна посевная и эспарцет песчаный полностью удовлетворяют собственную потребность в азоте за счёт его биологической фиксации. Потенциальные размеры азотфиксации

многолетних бобовых трав в фитомелиоративный период на литоземах (участки, сложенные лессовидными суглинками, серо-зеленой и красно-бурой глинами) достигают 3100–4300 кг/га, а обогащение метровой толщи эдафотопы составляет 2400–3000 кг/га.

8. На первом этапе биологической (фитомелиоративной) рекультивации литозёмов целесообразно создавать одно- или многовидовые агроценозы дву- и многолетних бобовых трав (донник белый и желтый, люцерна посевная, эспарцет песчаный) или культивировать 5–7-летние бобово-мятликовые 4–5-компонентные сенокосы (донник белый и желтый, люцерна посевная, эспарцет песчаный, костер, житняк, пырей) [45].

9. После первого этапа биологической рекультивации литозёмов их можно использовать в двух направлениях: создание на этих участках технозёмов или перезаложение агроценозов и последующее их использование как сенокосов или семенных посевов многолетних бобовых и мятликовых трав. При этом после первого этапа фитомелиорации необходимо проводить выравнивание поверхности длиннобаговыми планировщиками с целью устранения локальных проседаний и микротопографических отклонений на поверхности восстановленных участков.

10. Исследования по рекультивации земель на стационарах Днепропетровского государственного аграрного университета (Никопольский марганцеворудный, Камыш-Бурунский и Криворожский железорудные бассейны, Вольногорское месторождение полиметаллических руд и шахты Западного Донбасса) позволили рекомендовать основные модели восстановленных земель, которые обеспечивают устойчивое развитие сложных техноэкосистем.

Модель первая – универсальная. Формирование технозема предусматривает нанесение плодородного слоя почвы толщиной не менее 50–60 см на селективно отсыпанную пригодную горную породу (как правило, лессовидные или красно-бурые суглинки). Плодородный слой почвы (смесь двух верхних гумусовых генетических горизонтов) должен содержать не менее

2,0 % гумуса для чернозема южного и не менее 2,5 % для чернозема обыкновенного.

Модель вторая – создание литоземов для использования под сенокосы. На выровненной поверхности техногенных карьерных ландшафтов должны быть пригодные породы или смесь пригодных и среднепригодных вскрышных пород, на которых в период биологического этапа рекультивации осваиваются фитомелиоративные севообороты, насыщенные на 60–80 % многолетними бобовыми травами. В последующие 5–7 лет возделывается бобово-мятликовая травосмесь с введением в агроэкосистему озимой пшеницы и ячменя.

Модель третья – мелиоративная (трехъярусная). Первый, самый нижний, слой состоит из непригодных или фитотоксичных пород; второй слой служит экраном и, как правило, представляет собой пригодные вскрышные породы толщиной 50–60 см; третий – плодородный слой почвы толщиной не менее 50–60 см.

Модель четвертая. Для создания плодовых насаждений на восстановленных землях следует использовать траншейный (1,0×0,7 м) или луночный способ (1,4×1,0×0,7 м) подготовки участка к посадке деревьев с применением плодородного слоя почвы в общем массиве рекультивированных литоземов [1].

Модель пятая – создание высокоплодородных техноземов. На спланированную поверхность техногенных отвалов наносят водоупорный слой из незасоленных глин (40–50 см), затем завозят слой лессовидного суглинка (25 см), вносят органические удобрения (20–40 т/га) или плодородный слой почвы (~100 т/га), и проводят вспашку, после чего завозят еще 25-сантиметровый слой лессовидного суглинка, вносят органо-минеральную смесь и вновь проводят вспашку. На таком эдафотопе в течение 3–4 лет возделывают многолетние бобовые травы. Затем, после определившихся просадок, осуществляют детальную планировку и наносят 50 см плодородного слоя почвы. Модель получила малое практическое распространение в силу значительных затрат.

Модель шестая – санитарно-гигиеничная. Консервация промышленных отходов (хвостохранилища, шламоотстойники, золоотвалы, шахтные породы др.) проводится с целью улучшения экологической ситуации в техногенных ландшафтах и охраны прилегающих территорий от загрязнения. Профиль эдафотопы определяется как технологическими возможностями предприятий, так и экологической целесообразностью (фильтрационные, водоупорные слои, возможность вторичной переработки).

Модель седьмая – рекреационная. Предусматривает создание объектов отдыха, как правило, в местах конечной траншеи или внешних отвалов.

Модель восьмая – лесохозяйственно-заповедная. Создание на нарушенных ландшафтах условий для механической посадки разнотипных лесонасаждений. На отработанных землях Орджоникидзевского ГОКа (Богдановский и Александровский карьеры) созданы заповедники, как вторичные устойчивые техноэкосистемы, которые отвечают программе сохранения биологического разнообразия в Приднепровском регионе.

11. При рекультивации земель с созданием техноземов необходимо учитывать, что плодородный слой почвы значительно отличается от зональных почв эффективным плодородием, трофностью (N, P, K и другие питательные макро- и микроэлементы), биологическими свойствами и окислительно-восстановительным потенциалом. Экологическая система земледелия на техноземах требует специального агрохимического мониторинга.

Специфичность трофности плодородного слоя почвы и техноземов определяется прежде всего профильным распределением гумуса и его качеством (Сгк : Сфк), эффективным плодородием и почвенно-экологическими режимами (прежде всего карбонатность плодородного слоя почвы с поверхности).

12. Качество сельскохозяйственной продукции (сено многолетних бобовых трав, сено мятликово-бобовой травосмеси, сено мятликовых культур, зерно озимой пшеницы и ярового ячменя, хлебопекарные свойства муки озимой пшеницы), выращенной на рекультивированных техноземах,

соответствует основным параметрам нормативных документов Украины (стандарты, регламенты, технические условия, рекомендации).

13. Изучение экономических аспектов рекультивации земель позволило создать систему экономического регулирования, обеспечивающую рациональное использование земельных ресурсов; проведена экономическая оценка земли как природного ресурса, разработана методика определения ущерба сельскохозяйственного производства вследствие отчуждения земель, определены технико-экономические показатели рекультивации земель.

Цена земли, изъятой из сельскохозяйственного производства под горнорудные разработки, должна складываться из цены значимости земли как компонента биосферы, в котором уничтожается биогеоценоз, из цены земли как основного средства производства в сельском хозяйстве, из цены на восстановление плодородия нарушенных земель и из цены на улучшение экологического состояния окружающей среды. Если в расчетах оценки земли использовать коэффициент экологического благополучия местности, то оценка уровня использования рекультивированных земель становится более точной, поскольку она отражает результат производства при условии компенсации экологических потерь.

Установлено, что мероприятия по окультуриванию рекультивированных земель (энергетические дотации – удобрения, севооборот, обработка эдафотопов, инокуляция, мелиорация, применение пестицидов и др.) окупаются быстрее, чем на старопахотных участках. Например, прибавки урожая зерновых колосовых культур от применения NPK на литоземах составляют 250–350 % и более.

5. ОСНОВНЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

*Если кто искусством покажет
путь легкий и малоиздержестный
к претворению всякой земли в чернозем,
то будет благодетель рода человеческого.
А.Н. Радищев*

Рекультивация эколитосферы оформилась в самостоятельное производственно-научное направление в начале 60-х годов XX столетия, когда ученые Днепропетровского аграрного университета заложили первые, в масштабах СССР, лабораторно-полевые опыты в местах, где была завершена добыча полезных ископаемых открытым способом. Результаты этих исследований убедительно показали острую необходимость дальнейшего проведения мониторинговых работ на техногенно нарушенных землях, представляющих собой совершенно уникальные образования, которые не имели аналогов в природе.

Вынесенные на дневную поверхность с глубины 35–500 и более метров вскрышные горные породы являются совершенно новым геотехническим образованием, находящимся в состоянии активного взаимодействия с экологическими факторами окружающей природной среды. Техногенез приводит к разрушению установленного древнего эволюционного равновесия в стратиграфии пород, и особенно на границе поверхностных слоев технолитосферы и атмосферы. Это область огромного современного геохимического значения, в которой принимает участие, прежде всего, наземное живое вещество – “...вся совокупность организмов, растительности и животных, в том числе и человека” [5].

За 50-летний период на шести биоэкологических станциях мониторинга техногенных ландшафтов, созданных учеными аграрного университета в различных точках Днепропетровщины, испытаны многочисленные варианты техноземов, покрытых насыпным плодородным слоем чернозема типичного,

чернозема обыкновенного, чернозема южного, лугово-черноземной почвы и луговыми почвами. Кроме того, изучены литоземы, созданные из лессовидных и покровных суглинков, красно-бурых, серо-зеленых, черных сланцевых глин, из смеси лессовидных суглинков и древнеаллювиальных песков, песка и мела, песчано-глинистых, мело-мергельных отложений, а также из шахтных углистых пород, вынесенных на “дневную” поверхность с большой глубины в процессе добычи полезных ископаемых.

На таких, достаточно различных по физико-химическим свойствам эдафотопях (субстратах) были проведены длительные многочисленные вегетационные и лабораторно-полевые опыты с 32 видами сельскохозяйственных, 18 сортами плодово-ягодных культур, 15 видами лекарственных растений, которые служили тестами для определения особенностей почвообразовательного процесса в верхней толще сложных техноэкосистем. Фундаментальными исследованиями определена роль корней, микроорганизмов и почвенных ферментов в этом процессе, т.е. получила дальнейшее развитие приоритетная роль биологического фактора почвообразования в условиях техногенных ландшафтов; дана интегральная оценка техногенного загрязнения биогеоценологических компонентов окружающей среды в районах с большой техногенной нагрузкой; создан мониторинг методов и способов биологической рекультивации, влияющих на биохимический круговорот вещества и энергии на литоземах; изучен характер транслокационных процессов растений и микроорганизмов в условиях сложных биогеоценологических систем техногенных ландшафтов; определен азотфиксирующий эффект системы *Fabaceae* + *Rhizobium* на литоземах в фитомелиоративный период; рассчитан биогенный поток азота и углерода за фитомелиоративный период на литоземах; определена биогеохимия, энергетика и интенсивность современного почвообразования на вскрышных породах.

В настоящее время исследования по биологической рекультивации земель выполняются по значительно углубленной и расширенной программе, основанной на комплексном изучении разносторонних проявлений техногенной

среды.

Ограниченные объемом этой публикации, мы вынуждены озвучить только часть апробированных результатов наших исследований.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ (ПО Н.Т. МАСЮКУ)

Самозаращение вынесенных на дневную поверхность горных пород отличается по видовому составу растительности, их принадлежности к эколого-биологическим группам, а также по скорости и характеру формирования оригинальных фитоценозов.

Для выявления особенностей роста и развития травяных сообществ на разновозрастных внутренних и внешних отвалах карьеров были использованы различные геоботанические методы, индикаторные признаки и критерии: флористические (выявление видового состава и объединение его в семейства, количественный учет побегов и их массы, классификация растений на предмет их биологического и народнохозяйственного использования, определение общности флористического состава); эколого-физиологические (характеристика растений по отношению к влаге, солям, пище и т.п.); морфологические (определение жизненных форм, экотипов и учет некоторых биометрических показателей); фитоценотические (обилие, встречаемость, общность видового состава, дисперсность, пестрота сложения, ассоциированность, жизненность, подземная и надземная ярусность, мозаичность выделение основных ценотипов, синузий и т.д.); фенологические (длительность вегетации и фаз развития, анализ прироста высоты и др.), сукцессионные (изучение стадий формирования фитоценоза и смен одного фитоценоза другим).

Заращение лессовидных суглинков. На стадии пионерной группировки выявлено 38 видов растений. Наиболее распространенными оказались представители четырех семейств: сложноцветных, маревых, мятликовых и гречишных, которые составили 3/4 всех зафиксированных растений, 91,9 %

учтенных побегов и 59,2 % надземной вегетативной массы. Семейство бобовых представлено меньшим количеством видов (7,8 %) и побегов (2,7 %). Однако их продуктивность оказалась максимальной и составила 34,7 % от общей массы.

Начальные стадии зарастания лессовидных экотопов представлены преимущественно поверхностнокорневыми эфемерами, зимующими и летне-осенними короткостержнекорневыми однолетниками, располагающимися в интервале от мезофитов до мезоксерофитов и ксерофитов. На стадиях простой и сложной группировок они заменяются двухлетними короткостержневыми ксерофитами и длинностержнекорневыми мезофитами. Сменяющие их многолетние виды растений относятся к длинностержнекорневым с отпрысковым возобновлением ксеромезофитов, корневищных мезофитов и корнеотпрысковых ксерофитов. Формирование сложных фитоценозов на лессовидных экотопах происходит в течение 4–6 лет.

Продуктивность надземной фитомассы на 1–2-летних отвалах лессовидных суглинков, травостой которых находился в стадии пионерной смешанной группировки, выражалась величинами от 4,6 до 12,7 ц/га. В понижениях продуктивность фитомассы повышалась до 20 ц/га.

На 4-летних отвалах (стадия сложной группировки) продуктивность надземной биомассы возросла до 12,7–19,5 ц/га. При таком растительном покрове, основу которого составляло разнотравье, урожай фитомассы составил 12,7 ц/га, а в местах, где преобладали мятликовые, – 13,4 и бобовые – 19,5 ц/га.

На 6-летних отвалах, где растительный покров достигал стадии выработанного или замкнутого фитоценоза, продуктивность надземной массы составляла: в разнотравных фитоценозах – 14,6 ц/га, в мятликовых – 17,8 и бобовых – 24,5 ц/га.

В травостоях 8–12-летних отвалов продуктивность воздушно-сухой надземной массы возросла в разнотравных фитоценозах до 19,9 ц/га, в мятликовых – до 22,7 и бобовых – до 37,4 ц/га.

При зарастании соленосных красно-бурых суглинков происходило вначале поселение однолетних летне-осенних ксерогалофитов и

солеустойчивых весенне-летних мезоксерофитов. На стадии простой группировки наблюдалась совмещенность поверхностнокорневых гликофитов и длительновегетирующих стержнекорневых ксерогалофитов.

В дальнейшем при опреснении 0–40–60-сантиметрового слоя породы на красно-бурых суглинках формируются фитоценозы, сходные с фитоценозами, образующимися на более ранних стадиях зарастания лессовидных суглинков. Формирование сложных фитоценозов здесь длится 6–8 лет.

Биологическая продуктивность травостоев на 1–2-летних отвалах красно-бурых отложений суглинистого гранулометрического состава была несколько выше, чем на подобных отвалах лессовидных суглинков. В частности, продуктивность надземной фитомассы заросшей поверхности однолетних отвалов оказалась весьма высокой и составляла 16,8 ц/га, а 2-летних травостоев – 21,2 ц/га.

Фитомассу этих отвалов отличает от лессовидных суглинков специфичный флористичный состав, почти полностью представленный облигатными и факультативными галофитами, особенно теми их видами, высокое содержание солей для которых является важным условием нормального развития. Это в большинстве своем растения, проявляющие положительный “солевой эффект” или являющиеся соленапроникающими гликогалофитами.

Формирование растительности на глинистых отложениях. Толща третичных отложений представлена преимущественно породами глинистого гранулометрического состава. Среди них встречаются красно-бурые, зеленовато-серые мергелистые, зеленовато-серые переотложенные, зеленые плотные и черные сланцевые разновидности.

Особенности зарастания засоленных третичных глинистых отложений состоят в том, что их поверхность заселялась более медленно и небольшим количеством видов. В первые 4–6 лет на глинистых отвалах преимущественное развитие получали однолетние летне-осенние ксерогалофиты из семейства

маревых, что обусловлено их солевыносливостью и тяжелым гранулометрическим составом горных пород.

На 8–11-летних отвалах, сложенных глинистыми породами, формировались фитоценозы, в которых эдификаторные синузии образуют многолетние длинностержнекорневые и корнеотпрысковые галофиты. Экологическим дополнением этих синузий выступают ранневесенние поверхностнокорневые гликофиты, короткостержнекорневые солеустойчивые ксерофиты и мезоксерофиты весенне-летней и летне-осенней вегетации.

Заращение соленосных красно-бурых, а также слабо- и средnezасоленных плотных зеленых пород глинистого гранулометрического состава осуществляется весьма медленно. Продуктивность формирующихся на них травостоев оказалась в 2–4 раза меньшей по сравнению с засоленными породами суглинистого гранулометрического состава. Характерно, что зеленые глины, содержащие значительно меньше солей, но имеющие плотное сложение, являются неблагоприятным субстратом для роста и развития растений, в сравнении с рыхлыми, но более соленосными красно-бурыми глинами. Например, 2-летний травостой на красно-бурых глинах имел продуктивность надземной фитомассы, равную 12,4 ц/га, а 3-летний на зеленых глинах – всего лишь 6,4 ц/га.

Своеобразно зарастают зеленовато-серые мергелистые глины. Главная отличительная особенность их зарастания состоит в быстром заселении весьма однородной ксерогалофитной растительностью, характеризующейся сравнительно большой численностью побегов и высокой их продуктивностью, которая на стадии пионерной группировки составляла 22,8 ц/га, а на стадии сомкнутого фитоценоза – от 24,5 до 39,6 ц/га.

Как уже отмечалось, особая роль в заселении и освоении третичных глинистых пород на стадии пионерной группировки принадлежит однолетним растениям, а на стадиях сомкнутого фитоценоза и наметившихся сукцессионных смен – многолетним длительновегетирующим ксерогалофитам из семейства маревых. На их долю в формирующихся фитоценозах приходится

85,9–92,8 % от общей надземной фитомассы. Специфическая эколого-биологическая особенность галофитов на таких породах состоит в наличии “солевого эффекта”, стимулирующего их рост и развитие.

Подчеркнем, что продуктивность зарослей донника на 8-летних отвалах красно-бурых глин составляла 47,4 ц/га, зарослей вяза пестрого на таких же по возрасту отвалах серо-зеленых глин – 32,4 ц/га. Продуктивность фитоценозов, в которых эдификатором является лядвенец рогатый, изменялась от 17,1 до 21,7 ц/га.

ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЛОЖНЫХ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ (ПО И.Х. УЗБЕКУ)

В Украине одной из важнейших проблем биологической науки является рекультивация нарушенных земель, в которой эколого-биологическая оценка эдафотопов техногенных ландшафтов занимает центральное место, поскольку составляет основу программного моделирования новых высокопродуктивных, долговременных культурбиогенотопов.

Многолетние исследования по эколого-биологической оценке эдафотопов техногенных ландшафтов позволили сделать конкретные выводы и на их основе рекомендовать горнорудному и сельскохозяйственному производствам следующие положения:

1. Добыча полезных ископаемых открытым способом сопровождается разрушением биогенотопических процессов, природное восстановление которых, если и происходит, то в течение многих столетий.

2. Вынесенные в отвалы рыхлые горные породы третичных и четвертичных отложений образуют эдафотопы, не имеющие аналогов в природе. Они характеризуются большой гетерогенностью, сложными физико-химическими свойствами и, главное, незначительным содержанием элементов питания, особенно азота.

3. Физико-химические свойства эдафотопов обуславливают плодородие,

которое находится на низком уровне и определяется степенью соответствия биологических особенностей растительности экологическим свойствам вскрышных горных пород.

Наибольшее эколого-биологическое соответствие техногенным эдафотопам проявили бобовые растения, особенно многолетние бобовые травы, в первую очередь люцерна и эспарцет. Они создают густой, устойчивый травянистый покров, сохраняющийся в течение всего весенне-летнего периода, и неизбежно становятся опорными очагами концентрации элементов почвенного плодородия.

4. Многолетние бобовые травы проявили очень высокую экологическую пластичность корневых систем. В экстремальных условиях техногенных ландшафтов они создают такое количество корней и распределяют их в толще пород так, чтобы они смогли обеспечить растение элементами питания и создали бы максимально возможную продуктивность в данных почвенно-экологических условиях.

Улучшение условий питания увеличивает массу надземной части растений. Масса корней в этом случае уменьшается с одновременным увеличением их коэффициента продуктивности.

6. Бобовые растения являются основой для создания первичных консортивных связей. Они определяют и регулируют состав и численность микроорганизмов, способствуют формированию и интенсивному развитию биогеоценологических горизонтов, выполняют повышенную ландшафтно-средообразующую функцию. Совместно с клубеньковыми бактериями и свободноживущими азотфиксаторами корни, например люцерны и эспарцета, накапливают в слое пород 0–20 см в среднем 350 кг/га азота, 45 кг фосфора, 110 кг калия и 290 кг/га кальция.

Следовательно, почвообразовательный процесс начинается с *поверхности*, постепенно распространяясь на нижние слои эдафотопов. Эволюция молодых почв техногенных экосистем проявляется в непрерывном и интенсивном накоплении элементов питания.

7. Впервые для практических целей рекультивации разработана математическая модель расчета эколого-биологических характеристик корневых систем растений и прогрессивный рамочный способ отбора почвенных монолитов с корнями. Этот метод позволяет получить представление о строении и распределении в толще эдафотопов корней, рассчитать их поверхность, длину и насыщенность пород корнями в любое, удобное для исследователя время.

8. Выявлены особенности формирования корневых систем растений, что составляет теоретическую основу для разработки практических приемов воздействия на эдафотоп. Например, люцерна 3-го года жизни всегда образует корни толщиной более 5 мм. Такую биологическую особенность ее необходимо использовать для закрепления (задернения) откосов и бортов отвалов карьеров или для эродированных участков рекультивируемых земель. Произрастая в таких же жестких экологических условиях, эспарцет образует большое количество корней толщиной менее 0,5 мм. Эту особенность эспарцета необходимо использовать для создания в толще рыхлых горных пород водопрочных структурных агрегатов, стабилизирующих отвальную массу.

9. Установлено и статистически подтверждено, что в единице общей массы корней поверхность и длина могут быть различными, в зависимости от качественных показателей эдафотопа. Так, на 1 г воздушно-сухих корней эспарцета 3-го года жизни, изъятых из насыпного плодородного слоя чернозема 0–40 см (без удобрений), приходилось 97,1 см² поверхности и 11,3 м длины, а из красно-бурой глины – соответственно 141,4 см² и 17,4 м. При этом насыщенность эдафотопов корнями прямо пропорциональна их массе.

10. Выявлена циклическая и сукцессионная динамика общей численности микроорганизмов и их отдельных физиологических групп. Больше всего микроорганизмов насчитывается весной. В дальнейшем их количество уменьшается и имеет флуктуационный характер. Установлена закономерность проявления сингенетических процессов в период первичного почвообразования.

Культурфитоценозы способствуют увеличению численности и стабилизации конструкции микробного сообщества в соответствии с физико-химическими свойствами эдафотопов.

11. Вскрышные породы имеют высокий стимулирующий эффект для развития микроорганизмов. Через 10–15 лет после выноса их на “дневную” поверхность устанавливается пул микроорганизмов и проявляется микробиологический профиль, рисунок которого отражает качественную пестроту эдафотопов.

12. Определена интенсивность разложения корней в зависимости от архитектоники и гидротермических условий в толще эдафотопов. Ее уровень снижается в направлении от чернозема к серо-зеленой глине. За 12 месяцев в черноземе трансформировалось в среднем 80 % корней люцерны и 66 % корней пшеницы озимой, в серо-зеленой глине – соответственно 67 и 62 %. Наиболее интенсивно разрушаются корни весной, особенно ткани тонких корешков люцерны. Летом процесс разложения корней замедляется.

Доказана необходимость создания для каждого эдафотопов персонального севооборота, в котором обязательными растениями должны быть многолетние бобовые травы. Чередование культур в нем должно быть направлено на создание оптимальных условий для жизнедеятельности сбалансированного и управляемого микробоценоза.

13. Для успешного выполнения рекультивационных работ необходимо соблюдать стратегию биологизации эдафотопов. Она осуществляется тремя взаимосвязанными этапами: а) подготовительным, который предусматривает окультуривание пахотного слоя отработанного участка карьера путем внедрения культуртехнических и химических мелиораций; б) эколого-биологическим, который обеспечивает оптимизацию свойств эдафотопов как среды обитания растений. При этом количество микроорганизмов должно быть не менее 50 % общей их численности в зональной почве; в) фитомелиоративным (средообразующим), который создает и сохраняет оптимальную биогенность эдафотопов в соответствии с его физико-

химическими свойствами.

14. Эколого-биологические характеристики корневых систем растений, численность почвенных микроорганизмов и уровень ферментативной активности эдафотопов необходимо использовать как диагностические тесты для объективного контроля за состоянием верхней толщи рекультивируемых земель. Они и только они чутко реагируют на изменения экологических условий техногенной среды.

Результаты биологических исследований должны служить научно-теоретической основой для составления программ природоохозяйственных станций мониторинга техногенных ландшафтов.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ФЕРМЕНТОВ В ТОЛЩЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ (ПО И.Х. УЗБЕКУ И Н.В. ГОНЧАР)

Активность ферментов является надежным тестовым показателем интенсивности и направленности биохимических процессов, проходящих в толще техногенных ландшафтов. В многолетних исследованиях установлено:

1. В третичных и четвертичных горных породах, вынесенных на дневную поверхность с борта карьера, ферменты отсутствуют.

Только через 15–20 лет после пребывания эдафотопов на дневной поверхности в паровом состоянии (без растений) активность гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов в слое 0–40 см достигает уровня бедной и средней степени обогащенности. С глубиной активность ферментов уменьшается до уровня свежесыпанных горных пород.

2. Многолетнее воздействие фитомелиоративного севооборота, насыщенного бобовыми и злаковыми травами, способствует интенсивному накоплению в породах ферментов, которые по активности располагаются в следующий ряд: а) гидролитические: фосфатаза → инвертаза → уреаза; б) окислительно-восстановительные: дегидрогеназа → каталаза → нитратредуктаза → нитритредуктаза.

3. Гидролитические ферменты способствуют интенсивному

прохождению процессов накопления основных элементов плодородия в литоземах. Со временем в их пахотном слое активность уреазы, которая оптимизирует азотный баланс, возрастает до 4,8 мг NH_3 , а активность фосфатазы – до 3,3 мг P_2O_5 , что говорит о среднем и даже богатом уровне обеспеченности пахотного слоя эдафотопов соединениями азота и фосфора. Это в 16–20 раз превышает показатели рыхлых горных пород с борта карьера.

4. Окислительно-восстановительные ферменты (дегидрогеназа и каталаза) определяют интенсивность и направленность процессов трансформации органического вещества. Максимальная активность дегидрогеназы и каталазы наблюдается в слое 0–40 см под бобовыми культурфитоценозами, особенно интенсивно способствующими накоплению органического материала растительного и микробного происхождения. При этом преимущественное развитие получают процессы, действие которых происходит при активном участии дегидрогеназы, то есть процессы, которые интенсифицируют новый почвообразовательный процесс.

5. Высокое отношение активности инвертазы к активности каталазы свидетельствует о преобладании реакций гидролиза сложных органических соединений и о том, что процессы синтеза гумусовых веществ идут менее интенсивно. Снижение содержания гумуса по профилю понижает активность ферментов.

6. Рыхлые горные породы, отобранные непосредственно с борта карьера, являются абиогенными. Многолетнее пребывание на дневной поверхности трансформирует их в слабобиогенные, а под воздействием растительности они достигают уровня средней и высокой биогенности.

Эдафотопы со среднебиогенным и биогенным уровнем в пахотном слое пригодны для возделывания сельскохозяйственных культур, даже требовательных к почвенно-климатическим условиям. Слабобиогенные эдафотопы целесообразно использовать под лесные насаждения или в качестве сенокосов с развитым пчеловодством.

7. Результаты исследований предоставляют реальную возможность

горнорудным предприятиям выполнять такую технологию горных и отвальных работ, которая сможет создать наиболее приемлемый для данной местности ландшафт, отвечающий современным санитарно-гигиеническим требованиям.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ ВЕРХНЕДНЕПРОВСКОГО ГМК (ПО П.В. ВОЛОХУ)

1. Урожайность озимой пшеницы зависит от толщины плодородного слоя почвы, наносимого на выровненную поверхность отвалов. На рекультивированных землях, сложенных только лессовидными суглинками, урожайность озимой пшеницы составила лишь 5,1 ц/га. При нанесении плодородного слоя почвы толщиной 45–50 см урожайность озимой пшеницы составила 28,2 ц/га и оказалась близкой или такой же, как на ненарушенных землях. Дальнейшее увеличение толщины плодородного слоя почвы до 90 см способствовало росту урожайности озимой пшеницы на 1,1–6,9 ц/га.

2. Поскольку вариант рекультивированных земель, состоящий из плодородного слоя почвы толщиной 50 см, уложенного на метровый слой четвертичных отложений, обеспечивал урожайность зерновых культур, близкую или равную урожаям, полученным на ненарушенных соединениях чернозема, и этот вариант рекомендован как эталон для большинства рекультивированных земель в Днепропетровской области, то мы взяли его для дальнейших исследований, в результате которых было установлено:

а) наличие резкой границы в морфологических и агрохимических свойствах по отдельным слоям рекультивационного эдафотопы. В профиле этого варианта восстановленных земель нельзя проследить закономерной смены генетических горизонтов, как у зональных черноземов обыкновенных, так как при снятии, складировании в бурты, нанесении на выровненную поверхность отвалов и планировке происходит перемешивание перегнойного и верхней части первого переходного горизонтов чернозёма обыкновенного. Переход к подстилающей породе по окраске, структуре и сложению резкий.

Окраска плодородного слоя почвы темно-серая с вкраплениями палево-бурых пятен, подстилающей породы – изменяется от палево-желтой до красно-бурой.

Валовое содержание гумуса в слое 0–50 см колебалось от 2,8 до 3,4 %, в подстилающей породе 50–100 см составило 0,1 %. Профильное распределение гумуса в плодородном слое почвы – полимодальное. Содержание общего азота составило в слое 0–10 см – 0,16 %, 10–20 см – 0,15 %, 20–30 см – 0,15 %, 30–40 см – 0,16 %, 40–50 см – 0,13 %, 50–100 см – 0,01 %, валового фосфора соответственно 0,11; 0,10; 0,10; 0,10; 0,10; и 0,09 %, обменного калия – 23,4; 24,0; 22,5; 24,1; 21,2; и 26,3 мг/100 г почвы;

б) плотность насыпного плодородного слоя почвы в слое 0–10 см была 1,11 г/см³, 10–20 см – 1,14; 20–30 см – 1,30; 30–50 см – 1,39 г/см³, а подстилающей породы на глубине 50–70 см и 70–100 см соответственно 1,50 и 1,53 г/см³. Плотность твердой фазы насыпного плодородного слоя почвы составила 2,59–2,61 г/см³, подстилающей породы – 2,65–2,68 г/см³;

в) в слое 0–20 см на участке с насыпным плодородным слоем почвы содержалось водопрочных агрегатов во фракции размером 0,5–0,25 мм – 26,84 %, 1,0–0,5мм – 32,51 %, 2–1 мм – 37,12 %, 3–2 мм – 44,0 %, 5–3 мм – 48,75 %, 7–5 мм – 49,90 и 10–7 мм – 53,17 %, что соответственно на 9,18 %, 14,04; 17,41; 19,03; 15,35; 12,64 и 14,44 % больше, чем в верхнем слое (0–20 см) ненарушенной зональной почвы;

г) урожайность озимой пшеницы на неудобренном контроле в среднем составила 34,4 ц/га, ярового ячменя – 18,6 ц/га. При единичном внесении питательных элементов наибольшей эффективности обладал азот. Урожайность озимой пшеницы на варианте N₈₀ составила в среднем 41,3 ц/га, что на 6,9 ц/га, или 20,1 % больше, чем на варианте без удобрений.

Из парных комбинаций наиболее эффективными были азотно-фосфорные удобрения. Урожайность озимой пшеницы на варианте N₈₀P₈₀ составила 46,9 ц/га, ярового ячменя – 26,1 ц/га, что соответственно на 12,5 и 7,5 ц/га, или 36,3 и 40,3 %, больше, чем на неудобренном контроле.

При внесении $N_{80}P_{80}K_{80}$ получен максимальный средний урожай озимой пшеницы – 48,9 ц/га, ярового ячменя – 27,7 ц/га, что соответственно на 14,5 и 9,1 ц/га, или 42,2 и 48,9 %, больше, чем на варианте без удобрений;

д) содержание белка в зерне озимой пшеницы в среднем за три года на варианте без удобрений составило 12,6 %, клейковины в муке – 30,4 %. Применение азотно-фосфорного и полного минерального удобрений повышало качество зерна: содержание белка увеличилось в среднем на 1,0 %, клейковины в муке на 2,2–2,9 %.

3. На рекультивированных землях, сложенных только четвертичными преимущественно лессовидными суглинками, без нанесения на них плодородного слоя почвы, изучалось их плодородие с учетом биологических особенностей групп сельскохозяйственных культур и методы его повышения. В результате проведенных исследований установлено:

а) содержание органического вещества в лессовидных суглинках составило в слое 0–100 см – 0,1–0,3 %, валового фосфора – 0,08–0,10 % и обменного калия 19,5–22,8 мг/100 г породы. Общий азот в слоях 0–10 см, 10–20 см и 20–30 см составил 0,01 %, на глубине 30–100 см обнаруживаются только его следы;

б) лессовидные суглинки обладали неводопрочной структурой: содержание водопрочных агрегатов во фракции 0,5–0,25 мм равнялось лишь 3,17 % с увеличением в комочках размером 10–7 мм до 6,16 %, что на 14,49 и 32,57 % оказалось ниже, чем в пахотном слое ненарушенной старопахотной почвы;

в) плотность лессовидных суглинков в слое 0–10 см была 1,09 г/см³, 10–20 см – 1,16; 20–30 см – 1,34; 30–50 см – 1,37; 50–70 см – 1,54 и 70–100 см – 1,53 г/см³. Плотность твердой фазы породы составила 2,63–2,70 г/см³;

г) урожайность озимой пшеницы в среднем за четыре года на неудобренном варианте составила 8,4 ц/га, ярового ячменя только 5,4 ц/га.

Внесение одного азота вызвало увеличение урожая озимой пшеницы до 18,7 ц/га, фосфора – до 12,8 ц/га. Применение калийного удобрения не дало достоверных прибавок урожая.

Из парных комбинаций питательных элементов наибольшей эффективностью обладало азотно-фосфорное удобрение, при внесении которого урожайность озимой пшеницы составила 25,2 ц/га, ярового ячменя – 17,7 ц/га.

Самый высокий средний урожай озимой пшеницы (30,7 ц/га) и ярового ячменя (19,4 ц/га) получен при внесении $N_{80}P_{80}K_{80}$, что соответственно на 22,3 и 14,0 ц/га, или на 265 и 259,3 %, больше, чем на варианте без удобрений. Однако за годы наших исследований величина урожайности озимой пшеницы на лессовидных суглинках даже при внесении полного минерального удобрения не достигала величины среднего урожая этой культуры на ненарушенных обыкновенных черноземах;

д) на неудобренном контроле содержание белка в зерне озимой пшеницы в среднем было 8,5 % , клейковины в муке – 17,9 %, что в 1,7 раза по белку и в 1,8 раза по клейковине ниже стандарта на сильную пшеницу.

Внесение полного минерального удобрения под озимую пшеницу увеличило стекловидность зерна в среднем на 35 %, содержание белка – на 1,3 % и клейковины в муке – на 4,0 %. Основное применение $N_{80}P_{80}K_{80}$, ранневесеннее внесение N_{45} и поздняя подкормка N_{30} увеличивали в сравнении с неудобренным контролем стекловидность на 44 %, белка в зерне – на 2,7 %, клейковины в муке – на 7,5 % и объемный выход хлеба – на 78,0 см³.

4. Полевой опыт с люцерной синегибридной, заложенный на лессовидных суглинках, показал, что даже на неудобренном контроле в среднем за 4 года (включая и год посева) урожайность сена составила 32,2 ц/га. Средние прибавки от внесения азотно-фосфорного, фосфорно-калийного и полного минерального удобрений составили соответственно 3,0; 2,2 и 4,4 ц/га. Из этого следует, что лессовидные суглинки являются для люцерны плодородным субстратом, поскольку на них и без применения удобрений

получили высокие урожаи, имеющие производственное значение, а прибавки урожая от вносимых удобрений была сравнительно невелики.

5. На развитие корневой системы озимой пшеницы наибольшее влияние оказывало внесение фосфора, а также его совместное применение с азотом и полного минерального удобрения. Масса корней озимой пшеницы в слое 0–100 см на неудобренном варианте составила 18,34 ц/га, при внесении удобрений она увеличилась до 22,65 ц/га на варианте $N_{80}P_{80}K_{80}$. На лессовидных суглинках масса корней была меньше, чем на насыпном плодородном слое почвы и составила только 10,73 ц/га на неудобренном контроле и 17,76 ц/га при внесении $N_{80}P_{80}K_{80}$. Однако соотношение между массой корней и урожаем зерна озимой пшеницы было максимальным (1,27) на неудобренных лессовидных суглинках, минимальным (0,46) на участке с насыпным плодородным слоем почвы при внесении полного минерального удобрения.

Масса корней ярового ячменя в слое 0–50 см на участке, сложенном лессовидными суглинками, на варианте контроль составила 8,0 ц/га, при внесении $N_{80}P_{80}K_{80}$ – 10,33 ц/га, на участке с насыпным плодородным слоем почвы соответственно 10,01 и 13,38 ц/га.

Люцерна синегибридная на лессовидных суглинках развивала мощную корневую систему. Масса корней на втором году жизни в слое 0–150 см на неудобренном варианте составила 63,6 ц/га, при внесении $P_{80}K_{80}$ – 72,7 ц/га, что соответственно на 9,7 и 17,0 ц/га больше надземной фитомассы.

6. Эффективность азота, совместного внесения азота с фосфором и полного минерального удобрения на рекультивированных землях в насыпном плодородном слое почвы была выше, чем на ненарушенных старопахотных черноземах, вследствие меньшего процентного содержания гумуса и азота, лучшего структурного состава в пахотном слое на восстановленном участке в сравнении с верхним 0–20-сантиметровым слоем зональных старопахотных черноземов.

Эффективность минеральных удобрений определялась также плодородием изучаемых вариантов рекультивированных земель и

биологическими особенностями возделываемых культур. Так, на лессовидных суглинках внесение $N_{80}P_{80}K_{80}$ повышало урожай озимой пшеницы в среднем за годы исследований на 266,7 %, а люцерны синегибридной только на 13,7 %. На участке с насыпным плодородным слоем почвы толщиной 50 см урожай озимой пшеницы от внесения полного минерального удобрения повышался в среднем на 42,2 %.

Совместное внесение азота с фосфором, фосфора с калием, а также азота, фосфора и калия под озимую пшеницу на рекультивированных землях сопровождалось проявлением положительного эффекта взаимодействия, который выражался в увеличении прибавки урожая в сравнении с суммарной прибавкой от их отдельного воздействия.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА (ПО Н.И. ЖИЛЕНКО)

На основании результатов многофакторных полевых опытов, проведенных на рекультивируемых землях Западного Донбасса (Павлоградский район Днепропетровской области), представляется возможным сделать следующие выводы:

1. Шахтная порода, поднимаемая на поверхность при добыче угля в Западном Донбассе, непригодна для выращивания сельскохозяйственных культур. Но ее можно использовать для выравнивания антропогенных ландшафтов и неудовлетворительных элементов рельефа местности с последующим землеванием плодородным слоем зональных почв (чернозем обыкновенный) толщиной 50–100 см. Высокий эффект биологической рекультивации обеспечивает трехъярусный эдафотоп с размещением между шахтной породой и насыпной массой почвы слоя лесса толщиной 50 см. Это

способствует получению самой высокой урожайности полевых культур.

2. Шахтная порода не водоупорная. Ее способность пропускать воду позволяет осуществлять устойчивую рекультивацию земель в техноэкосистемах Западного Донбасса, поскольку это предохраняет насыпной слой почвы от размокания, расплывания и смыва, обеспечивает возможность дальнейшего окультуривания рекультивированных земель путем выращивания различных сельскохозяйственных растений.

3. Сохранению и упрочнению плодородного слоя насыпной почвы способствует развитие корневой системы возделываемых растений. Большая часть корней сосредотачивается в верхнем 30-сантиметровом насыпном слое почвы, но остальные пронизывают его во всех направлениях и по всей глубине, скапливаясь непосредственно над шахтной породой и проникая в нее до 10 см.

4. Наибольшее количество корней формируют люцерна посевная (масса сухого вещества в вариантах без лесса достигает почти 100 ц/га независимо от мощности насыпного плодородного слоя почвы) и эспарцет песчаный (масса корней 113,8 ц/га при мощности черноземного слоя 30 см на лессовой подкладке). Меньше корней было у озимой пшеницы и ярового ячменя (15,5–22,0 ц/га). Поэтому с точки зрения биологического освоения рекультивированных земель многолетние бобовые травы способны лучше обогащать почву азотом и органическим веществом, удерживать насыпную почву в связанном состоянии.

5. Введение в техногенный эдафотоп 50-сантиметрового слоя лесса не только оказывает положительное влияние на состояние посевов, вследствие появления дополнительного вместилища для влаги и развития корней, но и усиливает воздействие на растения других факторов рекультивации (увеличения толщины плодородного слоя почвы, внесения минеральных удобрений).

6. Эффективность внесения минеральных удобрений в эдафотоп с черноземной почвой без слоя лесса более чем в два раза ниже, чем при наличии лессового слоя без внесения удобрений. Удобрение (N₆₀P₆₀K₆₀) повышает

урожайность испытываемых культур в среднем на 13–18 %. Наиболее высокий урожай зерна (42,4–56,5 ц/га) на рекультивированных землях дает кукуруза, на 49,5 % ниже – озимая пшеница и на 81,1 % – яровой ячмень. Среди многолетних бобовых трав большую на 56 % урожайность сена обеспечивает люцерна посевная.

7. Продуктивность сельскохозяйственных культур на техногенных эдафотобах, отсыпанных лугово-черноземной слабосолонцеватой почвой, ниже на 20 %, чем на плодородном слое чернозема обыкновенного.

8. Достоверных изменений в качественных показателях и химическом составе озимой пшеницы и ярового ячменя под влиянием способов рекультивации не установлено. Однако по яровому ячменю и озимой пшенице на эдафотопе без лесса содержание белка в зерне повышалось с увеличением толщины насыпного слоя черноземной почвы на 5–11 %.

9. Рекультивация земель в Западном Донбассе связана с большими затратами средств. При выращивании на рекультивированных землях последовательно люцерны, озимой пшеницы, кукурузы и ярового ячменя производственные затраты можно окупить за 10–13 лет. Однако нами не проведен мониторинг комплекса ландшафтно-экологического состояния техноэкосистем региона до и после восстановления нарушенных земель в пойме р. Самара.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ КЕРЧЕНСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО БАССЕЙНА (ПО А.А. МЫЦЫКУ)

Исследования по биологической рекультивации земель при открытой добыче железной руды в Керченском железорудном бассейне дали основание подойти к таким выводам:

1. В местах открытых разработок месторождений в Керченском железорудном бассейне формируются специфические эдафические системы, которые в большинстве случаев представляют собой смесь вскрышных горных

пород разного состава, свойств и генезиса.

2. Лабораторными анализами, вегетационными и полевыми опытами установлено, что вскрышные горные породы отличаются от зональных почв низким содержанием органического вещества, гидролизованного азота, доступного фосфора и комплексом агроэкологических показателей (химико-минералогический состав, дисперсность, агрофизические и биологические свойства). Самым большим потенциальным плодородием обладают серо-зеленые киммерийские глины и лессовидные суглинки, значительно меньшим – песчано-глинистые куяльницкие отложения и рудовмещающая порода; в составе вскрышных горных пород не выявлены фитотоксические вещества.

3. Горные породы месторождения имеют низкое естественное плодородие. Плодородие серо-зеленых киммерийских глин, лессовидных плейстоценовых суглинков и песчано-глинистых отложений, определенное продуктивностью надземной массы гороха, меньше в сравнении с плодородием почвенной массы чернозема южного соответственно в 3,5; 7,6 и 46,0 раз. От применения полного минерального удобрения эффективное плодородие субстратов, которые изучались, повышалось от 4,5 до 96,0 раз. Величина урожайности мегатрофов на породах без удобрений не превышает 3–4-кратного количества высеянных семян культур.

4. Возделывание люцерны синегибридной, пшеницы озимой и гороха посевного на вскрышных горных породах позволило установить:

а) люцерна посевная в среднем за два года хозяйственного использования обеспечила высокие урожаи сена: на серо-зеленой глине – 74,8 ц/га, лессовидном суглинке – 38,5 ц/га и рудовмещающей породе – 30,3 ц/га;

б) урожайность озимой пшеницы после парующих площадей лессовидного суглинка (в среднем за три года) составила 8,0 ц/га (с вариациями по годам от 3,7 до 12,3 ц/га), на серо-зеленых глинах – 5,8 (4,9–7,1 ц/га). Фитомелиоративный эффект в звене севооборота горох–озимая пшеница для зерновой культуры составил на лессовидных суглинках – 5,4 ц/га (67 %), на серо-зеленых глинах – 6,7 ц/га (155 %).

5. Нанесение на вскрышные горные породы 50-сантиметрового черноземного слоя (по отношению к мегатрофам) повышает эффективное плодородие техноземов. В вариантах с лессовидным суглинком и серо-зеленой глиной увеличение сбора зерна пшеницы озимой по чистому пару было в 2,7 (1,8–3,6) и 3,4 (2,9–4,0) раза, по гороху на зеленую массу в 1,7 (1,5–1,8) и 1,6 (1,3–2,3) раза соответственно.

6. На рекультивированных литоземах самой высокой продуктивностью отличалась озимая пшеница, высеянная после люцерны синегибридной, убранной на третьем году жизни. Ее урожайность на лессовидных суглинках после люцерны была выше на 20,6 ц/га (в 2,7 раза) и на серо-зеленых глинах – на 35,4 ц/га (почти в 6 раз), чем на чистых парующих площадях горных пород. В первые годы освоения горных пород фитомелиоративный эффект люцерны (хотя и кратковременный) равнялся (лессовидные суглинки) или существенно превышал (серо-зеленые глины) уровень плодородия техноземов с насыпным плодородным слоем чернозема южного толщиной 50 см, что дает основание считать люцерну синегибридную основной пионерной культурой на фитомелиоративном этапе сельскохозяйственного освоения литоземов.

7. Биологическое тестирование горных пород (лессовидные суглинки и серо-зеленые глины) озимой пшеницей, горохом и люцерной дает основания пшеницу озимую отнести к мегатрофам (эколого-трофической группе растений, которые отличаются высокими требованиями к среде своего произрастания), потому что ее урожайность на горных породах была в 2,6–3,4 раза меньшей, чем на 50-сантиметровом насыпном слое чернозема (достигая 29–38 % урожайности на насыпной почве); горох – к мезотрофным (средне-требовательным) растениям, потому что его урожайность была ниже в 1,6–1,7 раза, или составляла 60–61 % от 50-сантиметрового насыпного слоя почвы; люцерну – к эвритрофам (малотребовательным), потому что ее урожайность на горных породах в 1,3–2,1 раза выше, чем на насыпном слое чернозема. Люцерна, произрастая на чистых горных породах (однородных субстратах для всего корневого слоя), создает больше глубокопроникающей корневой массы,

чем на зональных почвах и в двухъярусных моделях рекультивированных земель (с насыпным слоем почвы), что дает возможность охватить большой объем горной массы, использовать рассеянные в ней абиотические ресурсы и обеспечить высокую продуктивность.

8. Изучение профильного плодородия зональной почвы дает основание утверждать, что оптимальная глубина полнопрофильного чернозема южного, который подлежит селективной разработке, равняется суммарной мощности гумусно-аккумулятивного и первого переходного горизонтов (Н+НР). Потенциальное плодородие такой смеси в среднем равняется 90 % от гумусно-аккумулятивного горизонта, а эффективное – оцененное продуктивностью мезотрофов – 79 % без удобрений и 93–100 % с внесением фосфорных, фосфорных и азотных в сочетании с бактериальными.

Оптимальная толщина насыпного слоя чернозема южного для рекультивированных техноземов не должна ограничиваться 50-сантиметровым слоем и может быть увеличена в зависимости от условий до 60–80 см.

9. Получение продукции высокого качества на рекультивированных землях возможно только в вариантах с нанесением на горные породы (или их технические смеси) почвенной массы. С увеличением мощности насыпного почвенного слоя содержание белка в зерне пшеницы озимой и кукурузы существенно возрастает. ПДК тяжелых металлов (хром, кадмий, свинец) для исследуемых культур не превышала установленных норм.

Горнодобывающим предприятиям рекомендуется:

1. Перед началом горных работ проводить почвенное обследование отведенных под разработку территорий с целью определения мощности подлежащего селективной выемке плодородного слоя чернозема южного (сумма горизонтов Н + НР).

2. В месторождении целесообразно проводить рекультивацию земель с использованием в качестве подстилающей основы для насыпного почвенного слоя лессовидных суглинков, серо-зеленых глин и технической смеси горных пород.

3. Минимальная толщина насыпного плодородного слоя для Керченского железорудного месторождения составляет не меньше 50 см.

Сельскохозяйственным предприятиям рекомендуется:

1. Среди предшественников озимой пшеницы преимущество отдавать: на участках без насыпного почвенного слоя – люцерне синегибридной, на участках с почвенным слоем – люцерне, гороху, чистому пару, что обеспечивает получение продукции высокого качества.

2. В структуре гибридов кукурузы, выращиваемых на рекультивированных землях, доля раннеспелых должна составлять 10–20 %, средне- и позднеспелых – по 40–45 %. В посевах гороха предпочтение следует отдавать раннеспелым сортам.

3. На первых этапах биологического освоения рекультивированных земель перспективным является внедрение в производство агросукцессии: люцерны 3 года жизни–озимая пшеница и занятый пар (горох на зеленый корм)–озимая пшеница–кукуруза на зерно, продуктивность которой на 26,5 % выше, чем агросукцессии чистый пар–озимая пшеница–кукуруза на зерно.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ТЕХНОЭКОСИСТЕМ КУРСКОЙ МАГНИТНОЙ АНОМАЛИИ (ПО Г.С. СКОРОХОДУ)

На отвалах Лебединского ЖРК Курской магнитной аномалии в Губкинском районе Белгородской области (Россия) сотрудниками университета проводились исследования по рекультивации земель. Надрудные отложения представлены пестроцветными алевролитами и конгломератами, переходящими в гидрослюдные глины с прослоями песчаников и известняков. В геологическом разрезе залегают глины темно-серые, черные монтмориллонитового состава. Наибольшую толщину надрудных отложений слагают породы мелового возраста. Породы альбского яруса сложены песками

с примесью глауконита и полевых шпатов. Четвертичные отложения обычно представлены покровными суглинками, делювиальными тяжелыми суглинками и глинами. Они являются основными почвообразующими породами, на которых сформировались черноземы типичные суглинистого и тяжелосуглинистого состава.

Установлено, что на покровном суглинке урожайность озимой пшеницы составила 2,2–2,8 ц/га. Внесение полного минерального удобрения повышало продуктивность зерновой культуры на 150–170 %. На двухъярусном техногенном эдафотопе, сложенном на выровненной поверхности отвалов покровным суглинком и 50-сантиметровым плодородным слоем чернозема типичного, урожайность озимой пшеницы составила 18,8–21,7 ц/га.

Урожайность люцерны синегибридной на литоземах, сложенных с поверхности песком с мелом, песчано-глинистыми отложениями и мело-мергелистыми породами, за годы исследований была низкой и составила в среднем соответственно 5,3; 9,2 и 4,5 ц/га. Наиболее благоприятной породой для рекультивации оказались покровные суглинки. В сумме за три года урожай сена люцерны составил 126,2 ц/га, т.е. в среднем 42,1 ц/га.

На участке Лебединского рудника КМА изучена возможность использования приема землевания гидронамывом малопродуктивных зональных земель селективно снятым плодородным слоем почвы.

ЭКОНОМИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ЗЕМЕЛЬ СТЕПНОЙ ЗОНЫ УКРАИНЫ (ПО Т.И. ГАЛАГАН)

В Украине одной из важнейших проблем экономической науки является рекультивация нарушенных земель, в которой эколого-экономические разработки занимают центральное место, поскольку составляют основу программного моделирования новых высокопродуктивных, долгосрочных культурбиогенезов.

Результаты таких многолетних исследований дают основания для рекомендации следующих положений:

1. Цена земли, которая изымается из сельскохозяйственного производства под горнорудные разработки, должна состоять из цены значимости земли как компонента биосферы, в котором уничтожается биогеоценоз, из цены земли как основного способа производства в сельском хозяйстве, из цены на восстановление плодородия нарушенной земли и из цены на улучшение экологических условий окружающей среды.

2. Эдафотопы техногенных ландшафтов одновременно являются оригинальным продуктом и предметом труда, что делает их теоретическим и практическим фундаментом для дальнейшего использования в народном хозяйстве.

Как материальные субстанции, они способны воспринимать дополнительные вложения труда и средств. Благодаря своему природному и искусственному плодородию эдафотопы могут повышать производство продукции и улучшать экологическое состояние окружающей среды. С повышением производительности труда создаются необходимые предпосылки для интенсивного использования рекультивированных земель, снижения себестоимости полученной продукции, увеличения выхода чистого дохода, повышения рентабельности производства.

3. Рекультивированные земли – это созданный человеком ресурс многофункционального значения. Они являются базисом горнорудного, сельскохозяйственного и лесного производств и служат очагами свойств, которые определяются эколого-экономическими функциями, составляющими их производственную ценность.

4. Доказано, что затраты на рекультивацию нарушенных земель должны проводиться за счет горнорудных предприятий с обязательным учетом прежнего ландшафта и специфики почвенно-климатических условий местности.

Горнотехнический этап рекультивации является составной частью горных разработок. Затраты на его проведение должны устанавливаться на основе фактического объема рекультивационных работ и включаться в общие затраты на добычу сырья.

Биологический этап рекультивации нарушенных земель предусматривает создание высокого уровня биогенности эдафотопов с одновременным интенсивным восстановлением их плодородия. Полученная продукция и доход являются побочным продуктом биологической рекультивации и характеризуют положительный итог общего процесса восстановления нарушенных земель.

5. Эдафотопы техногенных ландшафтов имеют разный уровень плодородия, что предопределяет разную производительность труда. Плодородие эдафотопов является объективной экономико-экологической категорией, которая формируется как результат взаимодействия физико-химических свойств эдафотопов, продуктивных сил и производственных отношений. Оно находится на низком уровне и определяется степенью соответствия биологических особенностей растительности экологическим условиям создаваемых почв.

6. Предложена методология экономико-экологической бонитировки, по которой общий экологический бал бонитета определяется путем сопоставления параметров рекультивированной земли и старопахотного чернозема по возможно широкому перечню показателей. Бонитировка экономико-экологических функций рекультивированных земель должна стать неотъемлемой частью их общей и частичной оценки.

Впервые определен экономико-экологический бал наиболее распространенных эдафотопов степной зоны Украины, которые используются для получения сельскохозяйственной продукции.

Заложены методологические основы для оценки восстановленных земель в условиях формирования рыночных отношений в сельском хозяйстве.

7. Установлена экономико-экологическая эффективность использования рекультивированной земли, которая определяется затратами на восстановление

ее плодородия и выражается натуральными, оценочными и структурными показателями. Основными из них являются: валовой и чистый доход из расчета на 1 га, рекультивированный под определенное сельскохозяйственное угодье, а также: а) коэффициент использования эдафотопов, который отражает отношение площади сельскохозяйственного назначения ко всей рекультивированной площади и б) коэффициент использования пашни, который рассчитывается как отношение площади посева ко всей пахотной площади эдафотопа.

Разработана методология экономической оценки процессов, которые происходят в системе “рекультивированная земля–вложения–выход продукции–улучшение экологии”.

8. Доказано, что экономико-экологическим требованиям рекультивации земель отвечает 40-сантиметровый насыпной слой плодородной массы чернозема. Уровень себестоимости рекультивации нарушенных земель в основном определяется транспортными затратами из которых 66 % приходится на снятие, погрузку и транспортировку плодородного слоя чернозема в бурты и на спланированную поверхность отвалов, 20 % – на планировку поверхности отвалов, 4 % – на планировку поверхности нанесенного на отвалы плодородного слоя чернозема, 10 % – на охрану труда и цеховые затраты.

При внесении расчетных норм удобрений, внедрении специальных фитомелиоративных севооборотов и специфичной культуры земледелия срок окупаемости затрат на рекультивацию сокращается в 2–3 раза. Увеличение толщины насыпного слоя чернозема до 80 см является неэффективным, поскольку при увеличении затрат повышение урожайности не наблюдается.

Предлагается система экономического стимулирования сохранения и полного использования селективно снятых плодородных слоев почвы, согласно которой затраты на возмещение убытков от потерь массы почвы и его разубоживания относятся на себестоимость продукции горнорудного предприятия.

9. Впервые для степного Приднепровья введена градация коэффициентов экологического благополучия местности (КЭБ), которая позволяет провести объективную оценку использования рекультивированных земель.

Восстановленные земли с насыпным слоем черноземной массы толщиной не менее 40 см, которые используются под пашню, имеют коэффициент 0,75; спланированные отвалы горных пород без плодородного черноземного покрытия, пригодные для возделывания сенокосов из долговегетирующих многокомпонентных культурфитоценозов имеют коэффициент 0,5; спланированные отвалы горных пород с вредными примесями без плодородного черноземного покрытия, пригодные для создания искусственных лесных биогеоценозов, имеют коэффициент экологического благополучия местности 0,25. Коэффициент экологического благополучия для ненарушенных земель с благоприятными санитарно-гигиеническими условиями на данной местности равен 1.

Доказано, что гармонизация экономико-экологических интересов общества обуславливается экономической оценкой экологических выгод и затрат, которые представляются в количественном выражении и имеют экономическую ценность.

10. Объективная экономико-экологическая оценка рекультивированных земель обуславливается толщиной нанесенного на спланированную поверхность отвалов слоя массы плодородного чернозема, уровнем его разубоживания, реакцией почвенного раствора и уклоном поверхности участка.

Определение уровня пригодности к дальнейшему использованию в определенной отрасли производства определяется простым суммированием баллов по указанным показателям.

Рекультивированные земли, которые имеют бал 50 и выше пригодны для сельскохозяйственного производства, 50–30 – пригодны для создания долговременных многокомпонентных агроценозов (сенокосов), лесных и плодово-ягодных насаждений, 30 и меньше баллов – для создания рекреационных зон, спортивных сооружений, дачных участков и т.д.

11. Дальнейшее использование рекультивированных земель требует дифференцированного подхода к определению отрасли, целесообразной с экономической точки зрения.

Впервые для степной зоны Украины разработаны шкала и матрица предварительного определения возможных отраслей дальнейшего использования рекультивированных земель в соответствии с их происхождением, их качества и проведенных затрат. Выбор реального варианта предусматривает достижение экономически целесообразного и экологически безопасного уровня отдачи с единицы площади рекультивированных земель, внедрения энергосберегающих, экологически безопасных технологий обработки почвы и выращивания культурфитоценозов.

Обоснована ценность рекультивированных земель для общества с точки зрения социальных, экологических и экономических аспектов.

Критерием экономической оценки земли должна служить дифференциальная рента, которая наиболее гибко отображает экономический эффект труда на рекультивированных землях различного качества.

12. Разработаны, усовершенствованы и предлагаются для использования методологические разработки по следующим вопросам:

а) для горнотехнического этапа рекультивации – определение затрат на компенсацию за отчуждение земель; потерь от временного изъятия земли и уменьшение валовой сельскохозяйственной продукции; потерь чистого дохода в связи с отчуждением земель; цены земельной площади и цены разрушенного почвенного слоя в зависимости от его качественных показателей; затрат на горнотехнический этап рекультивации в основу которого положено систему экономического стимулирования и ответственности горных предприятий за качественную рекультивацию нарушенных ими земель;

б) для биологического этапа рекультивации – определение себестоимости рекультивированной земли; затрат на биологический этап рекультивации и срок их окупаемости в зависимости от вида культурфитоценозов; суммы годового чистого дохода общества, который получают с рекультивированных

земель; количество продукции с рекультивированной площади и ее реализации; обоснована экономико-экологическая эффективность рекультивированной земли с учетом коэффициента экологического благополучия (КЭБ) данной местности.

Предлагается метод определения коэффициента восстановления ландшафта. Чем выше этот коэффициент, тем меньше вредоносность горнорудных предприятий на окружающую среду и тем выше уровень восстановления сельскохозяйственного производства.

13. Современные условия развития экономики Украины требуют обоснованного рационального использования земельных ресурсов вообще и эдафотопов техногенных ландшафтов – в частности.

Рекультивированные земли могут использоваться в различных отраслях народного хозяйства, выступать пространственным базисом, предметом труда и способом производства.

Эдафотопы техногенных ландшафтов в каждом отдельно взятом регионе Украины являются объектом сложной системы межотраслевых экономических отношений, определяющим показателем которых выступает их продуктивность.

14. Проблема бережного отношения к рекультивированным землям степной зоны Украины наиболее успешно может решаться в таких прогрессивных формах хозяйствования, как аграрно-промышленные объединения. Именно они в состоянии реально осуществлять умелое маневрирование ресурсами техногенных ландшафтов с целью их охраны, улучшения и самого эффективного использования. Для этого:

а) провести экономико-экологическую паспортизацию нарушенных земель, в которой привести детальную картографическую документацию (карты организации восстановленной территории, топографические, кадастровые, агрохимические, почвенно-мелиоративные карты и т.д.);

б) определить экономически обоснованную специализацию аграрно-промышленных объединений на основе физико-химических свойств

эдафотопов, рельефа восстановленных участков, расстояния до населенных пунктов и пунктов реализации продукции;

в) на землях, предназначенных для сельскохозяйственного производства, определить структуру посевных площадей и внедрять стратегию повышения уровня биогенности эдафотопов, которая предусматривает окультуривание пахотного слоя, т.е. оптимизацию его физико-химических свойств.

По каждому из этих вопросов необходимо сделать экономико-экологический анализ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устойчивое развитие сложных экотехносистем / В. И. Шемавнев, Н. А. Гордиенко, В. И. Дырда [и др.]. – М.–Днепропетровск, 2005. – 355 с.
2. Устойчивое развитие сложных динамических систем / А. С. Кобец, В. И. Дырда, Н. А. Гордиенко [и др.]. – М.–Днепропетровск, 2008. – 314 с.
3. Ферсман А. Е. Геохимия / А. Е. Ферсман. – Л. : Онти-химтеорет, 1934. – Т. 2. – 354 с.
4. Вернадский В. И. Научная жизнь как планетное явление / В. И. Вернадский. – М. : Наука, 1991. – 272 с.
5. Вернадский В. И. Биосфера / В. И. Вернадский. – Л. : Наука, 1967. – 216 с.
6. Порядок денний на XXI століття (Agenda 28) Програма дій. – К. : Интелсфера, 2000. – 359 с.
7. Пригожин И. Р. Время, структуры и флуктуации / И. Р. Пригожин // Успехи физических наук. – М., 1960. – Т. 131, вып. 2. – С. 185.
8. Пригожин И. Р. Философия нестабильности / И. Р. Пригожин // Вопросы философии. – 1991. – № 6. – С. 46–52.
9. Успенский П. Д. Новая модель Вселенной / П. Д. Успенский. – СПб. : Изд-во Чернышева, 1993. – 560 с.
10. Войницький А. П. Техноекологія : підручник / А. П. Войницький, В. П. Дубровський, В. М. Боголюбов; за ред. В. М. Боголюбова. – К. : Аграрна освіта, 2009. – 533 с.
11. Ковда В. А. Биогеохимические циклы в природе и их нарушение человеком / В. А. Ковда. – М. : Наука, 1975. – 72 с.
12. Рейвен П. Почему это так важно / П. Рейвен // Наша планета. – 1994. – № 4. – С. 14.
13. Дырда В. И. Концепция безопасного функционирования сложных технических систем / В. И. Дырда. – Днепропетровск : Полиграфист, 1995. – Т. 1. – С. 102–125.

14. Закон України “Про охорону земель” // Відомості Верховної Ради України. – 2003. – № 39. – С. 349.
15. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища” // Відомості Верховної Ради України. – 1991. – № 41. – С. 546.
16. Полупан М. І. Класифікація і родючість ґрунтів / М. І. Полупан, В. Б. Соловей, В. А. Величко // Агрохімія і ґрунтознавство. – Харків, 2010. – С. 137–150.
17. Докучаев В. В. Избранные сочинения / В. В. Докучаев. – М. : Наука, 1954. – 708 с.
18. Постанова Кабінету Міністрів України “Про розміри та Порядок визначення втрат сільськогосподарського і лісогосподарського виробництва, які підлягають відшкодуванню” № 1279 від 17 листопада 1997 року.
19. Бекаревич Н. Е. Рекомендации по биологической рекультивации земель в Днепропетровской области / Н. Е. Бекаревич, Н. Т. Масюк, И. Х. Узбек [и др.]. – Днепропетровск : Промінь, 1969. – 38 с.
20. Масюк Н. Т. Плодородие искусственных почвенно-экологических систем, формируемых при техногенной трансформации черноземов / Н. Т. Масюк // Эколого-биологические и социально-экономические основы сельскохозяйственной рекультивации в степной черноземной зоне СССР : труды ДСХИ. – Днепропетровск, 1984. – Т. 49. – С. 71–88.
21. Качинский Н. А. Физика почвы / Н. А. Качинский. – М. : Высшая школа, 1965. – Ч. 1. – С. 75–79.
22. Вадюнина А. Ф. Методы определения физических свойств почв и ґрунтов / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Высшая школа, 1973. – С. 79–88.
23. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 482 с.
24. Горбунов Н. И. Почвенные коллоиды и их значение для плодородия / Н. И. Горбунов. – М. : Наука, 1967. – 243 с.

25. Узбек И. Х. Гидротермические особенности техногенных экосистем / И. Х. Узбек, В. И. Шемавнев, Т. И. Галаган [и др.] // *Екологія та ноосферологія*. – Т. 18, № 1–2. – К.–Днепропетровск, 2007. – С. 96–99.
26. Базилевич Н. И. Опыт классификации почв по засолению / Н. И. Базилевич, Е. И. Панкова // *Почвоведение*. – 1968. – № 11. – С. 3–15.
27. Вильямс В. Р. Собрание сочинений : [в 11 т.] / В. Р. Вильямс. – М. : Сельхозгиз, 1951. – Т. 7. – С. 156–368.
28. Узбек І. Х. Еколого-біологічна оцінка едафотопів техногенних ландшафтів степової зони України : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра біол. наук : спец. 03.00.16 “Екологія” / І. Х. Узбек. – Дніпропетровськ, 2001. – 36 с.
29. Рекультивация нарушенных земель как устойчивое развитие сложных техноэкосистем : монография / [И. Х. Узбек и др.]. – Днепропетровск : Пороги, 2010. – 263 с.
30. Киреев В. А. Краткий курс физической химии / В. А. Киреев. – М. : Химия, 1978. – 494 с.
31. Грунтознавство : підручник / [Д. Г. Тихоненко та ін.]. – К. : Вища освіта, 2005. – 703 с.
32. Хазиев Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев. – М. : Наука, 1982. – 203 с.
33. Келеберда Т. Н. Ферментативная активность как биоиндикатор изменения плодородия техногенных грунтов путем фитомелиорации / Т. Н. Келеберда // V делегат. съезд Всесоюз. общества почвоведов, 11–15 июля 1977 г. : тезисы докл. – Минск, 1977. – Вып. 2. – С. 271–272.
34. Наплекова Н. Н. Синтез аминокислот целлюлозоразрушающими микроорганизмами и их спутниками / Н. Н. Наплекова, Л. Г. Сафронова // *Микробиология – народному хозяйству*. – Новосибирск : Наука, 1974. – С. 122–131.
35. Тимирязев К. А. Жизнь растений / К. А. Тимирязев. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – 290 с.

36. Самцевич С. А. Активные выделения корней и их значение / С. А. Самцевич // Физиология растений. – 1965. – Т. 12, вып. 5. – С. 837–846.
37. Фізіологія рослин / [М. М. Макрушин та ін.]. – Вінниця : Нова книга, 2006. – 416 с.
38. Узбек И. Х. Опыт возделывания многолетних бобовых трав на третичных глинистых отложениях / И. Х. Узбек, Н. Д. Горобец // Рекультивация земель. – Тарту, 1975. – С. 174–180.
39. Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера / Н. Н. Моисеев. – М. : Наука, 1990. – 351 с.
40. Реймерс Н. Ф. Экология. Теория, законы, правила, принципы и гипотезы / Н. Ф. Реймерс. – М. : Россия молодая, 1994. – 364 с.
41. Пат. на корисну модель 53607 Україна, МПК (2009) E21C 41/00. Спосіб технічної рекультивації відвалів / А. С. Кобець, І. Х. Узбек, В. І. Дирда [та ін.]. – № u 2010 04674; заявл. 20.04.2010; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.
42. Пат. на корисну модель 53610 Україна, МПК (2009) E21C 41/00. Спосіб рекультивації відвалів / А. С. Кобець, І. Х. Узбек, В. І. Дирда [та ін.]. – № u 2010 04680; заявл. 20.04.2010; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.
43. Пат. на корисну модель 54407 Україна, МПК (2009) E21C 41/00 E21F 15/00. Спосіб рекультивації земель, порушених відкритими гірничими роботами / А. С. Кобець, І. Х. Узбек, В. І. Дирда [та ін.]. – № u 2010 04705; заявл. 20.04.2010; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 21.
44. Пат. на корисну модель 54734 Україна, МПК (2009) E21C 41/00. Спосіб рекультивації схилів / А. С. Кобець, І. Х. Узбек, В. І. Дирда [та ін.]. – № u 2010 04699; заявл. 20.04.2010; опубл. 25.11.2010, Бюл. № 22.
45. Пат. на корисну модель 56101 Україна, МПК-2011.01 E21C 41/00 E21F 15/00. Спосіб рекультивації земель, порушених відкритими гірничими роботами / І. Х. Узбек, П. В. Волох, А. С. Кобець [та ін.]. – № u 2010 08342; заявл. 05.07.2010; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24.



Рис. 1. Александровский карьер уже у окраин г. Орджоникидзе Никопольского района Днепропетровской области, 1965 г.



Рис. 2. Вид на город со стороны Александровского карьера Орджоникидзевского ГОКа, 1965 г.



Рис. 3. Верхний уступ Запорожского карьера Орджоникидзевского ГОКа



Рис. 4. Общий вид карьера Вольногорского ГМК



Рис. 5. Общий вид Запорожского карьера Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 6. Выровненная поверхность отвала из лессовидных суглинков подготовлена для покрытия плодородным слоем чернозема южного. Запорожский карьер Орджоникидзевского ГОКа, 1970 г.



Рис. 7. По дороге на опытно-производственный стационар ДГАУ в Александровском карьере, 2010 г.



Рис. 8. Посевы эспарцета песчаного на опытно-производственном стационаре ДГАУ в Александровском карьере, 1969 г.



Рис. 9. Осмотр посевов многолетних трав
на Александровском опытно-производственном стационаре ДГАУ, 1969 г.



Рис. 10. Общий вид полевых опытов на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ
и Орджоникидзевского ГОКа, 1975 г.



Рис. 11. Фенологические наблюдения на посевах эспарцета песчаного на Александровском опытно-производственном стационаре ДГАУ, 1969 г.



Рис. 12. Общий вид посевов на делянках с различными фонами удобрений



Рис. 13. Общий вид полевых опытов на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 1975 г.



Рис. 14. Посевы кукурузы на зерно по красно-бурой глине на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 1980 г.



Рис 15. Посевы пшеницы озимой по насыпному плодородному слою чернозема на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 16. Посевы трав по лессовидному суглинку на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 17. Донник желтый на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 18. Многокомпонентная травосмесь на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 19. Травосмесь бобовых и злаковых культур на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 20. Лесные насаждения на Александровском опытно-производственном стационаре ДГАУ, 2010 г.

Анатолий Степанович КОБЕЦ
Иван Харлампиевич УЗБЕК
Петр Владимирович ВОЛОХ
Александр Юрьевич ВИЛКУЛ
Александр Андронович ЛЮБОВИЧ
и другие

**РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕКУЛЬТИВАЦИИ
ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ**

Редактор *М. П. Гончаренко*
Комп'ютерна верстка

Редакційно-видавничий відділ
Дніпропетровського держагроуніверситету
49600, м. Дніпропетровськ, вул. Ворошилова, 25

Підписано до друку 21.03.2011. Формат 60x84/16.
Обл.-вид. арк. 12,3. Ум. фарбо-відб. 15,7. Ум. друк. арк. 15,7.
Наклад 500 прим. Папір офсетний. Друк офсетний. Зам. 04/1061

Видавництво «Свідлер А.Л.»
49041, м. Дніпропетровськ, а/с 2493, тел. /факс +38 (056) 776-39-16

Ідентифікатор видавця у системі ISBN: 627
Надруковано в типографії видавництва «Свідлер А.Л.»

<http://svidler.dp.ua>

