

**МИНИСТЕРСТВО АГРАРНОЙ ПОЛИТИКИ И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ УКРАИНЫ
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ОРДЖОНИКИДЗЕВСКИЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ**

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
НАРУШЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

**ДНЕПРОПЕТРОВСК
2012**

УДК 631.61
ББК 40.6
К 65

Рецензенты: член-корреспондент НАН Украины, доктор биологических наук, профессор А.П. ТРАВЛЕЕВ; доктор технических наук, профессор В.В. ВИНОГРАДОВ

Рекомендовано к печати ученым советом Днепропетровского государственного аграрного университета (протокол № 6 от 28 марта 2012 г.)

Авторы: А.А. Демидов, А.С. Кобец, П.В. Волох, И.Х. Узбек, Ю.И. Грицан, В.И. Дырда, А.А. Мыщык, Т.И. Галаган, Н.В. Гончар, С.П. Шуваев

К 65 Концептуальные основы устойчивого развития нарушенных природных экосистем / [Демидов А. А., Кобец А. С., Волох П. В. и др.]. – Днепропетровск : Изд-во «Свидлер А.Л.», 2012. – 125 с., ил.

ISBN 978-966-8490-99-6

Рассмотрено современное представление об устойчивом развитии сложных техноэкосистем. Изложены теоретические и практические основы процесса формирования устойчивых агроэкосистем на различных вариантах антропогенно сконструированных эдафотопов.

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

УДК 631.618
ББК 40.6
К 65

ISBN 978-966-8490-99-6

© Демидов А.А., Кобец А.С.,
Волох П.В. и др., 2012

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1. Ноосферные аспекты устойчивого развития общества	12
1.1. Биотехно-ноосферная концепция В.И. Вернадского в контексте устойчивого развития	14
1.1.1. Биосферно-ноосферное учение В.И. Вернадского	18
1.1.2. Биосфера: живое и косное вещество	19
1.1.3. Научная мысль как проявление живого вещества	21
1.1.4. Переход биосферы в ноосферу	22
1.2. Современные понятия устойчивого развития	24
1.3. Факторы риска	27
1.3.1. Антропогенные факторы риска	27
1.3.2. Экологические факторы риска	29
1.3.3. Техногенные факторы риска	31
1.3.4. Некоторые принципы создания безопасных сложных технических систем	35
2. Рекультивация горнорудных техноэкосистем – главное направление устойчивого развития нарушенных природных экосистем	40
2.1. Техногенез горнодобывающего комплекса и необходимость рекультивации антропогенных морфоструктур	40
2.2. Некоторые актуальные проблемы оценки земельных ресурсов, охраны и рационального использования почв при техногенезе	47
2.3. Влияние технологии разработки месторождений на горнотехническую рекультивацию	58
2.4. Эколого-биологическая оценка степени пригодности вскрышных пород для рекультивации сложных техноэкосистем	60
2.4.1. Гранулометрический состав	60
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	66
2.4.5. Водно-солевой режим рекультивированных земель	73
2.4.6. Соленакпление в рекультивированных эдафотопях	75
3. Почвообразование на литоземах как показатель устойчивого развития сложных техноэкосистем	81
3.1. Фотоэлектрический эффект на литоземах	83
3.2. Каталитические процессы в литоземах	85
3.3. Азотфиксирующий эффект многолетних бобовых трав на литоземах	89
3.4. Биохимия углерода в литоземах	93
3.5. Энергетика современного почвообразования на рекультивированных литоземах	95
4. Технологии восстановления нарушенных земель. Модели антропогенных эдафотопов в техноэкосистемах	98
Список литературы	106
Приложения	110

*90-летию Днепропетровского
государственного аграрного университета
посвящается*

“...природа человека и действительная продолжительность его жизни таковы, что в громаднейшем большинстве случаев, мы не замечаем самих процессов, а удивляемся только результатам, приписывая их нередко случайности, различного рода катастрофам”.

В.В. Докучаев

*Как разрезы, траншеи легли,
И воронки, как раны, зияют.
Обнаженные нервы Земли
Неземное страдание знают.
В.С. Высоцкий*

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, получив должное освещение в литературе, не овладел идеей “утверждения и сохранения планетарного гомеостаза популяции *Homo sapiens*” [39]. 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.

“Трансформация экосистем явление закономерное и необратимое. Столь масштабный вклад человечества в ход природных процессов в биосфере указывает на возможность перерастания современного экологического кризиса в биосфере из флуктуации в бифуркацию” [12].

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 техно- и агроландшафтов, в том числе самых разнообразных аспектов, связанных с восстановлением территорий, утративших устойчивость и стабильность из-за нарушения структурно-функциональных связей биогеоценозов.

Системная парадигма в настоящее время дополнена теорией открытых неравновесных систем. Согласно И.Р. Пригожину [8] “...отправным пунктом нового согласованного порядка” в техногенных ландшафтах есть самозаращение поверхности антропогенных вскрышных пород, а при рекультивации – направления восстановления геологических морфоструктур.

PREFACE

“There is nothing more powerful in the world than free scientific cogitation.”

V. Vernadsky

Mankind has crossed the threshold of the third millennium and many scientists have been analyzing the results of human activity and seeking effective ways of further development. What determined mankind's existence over the last centuries, and what have we come into the 21st century with? Among a great many issues the authors have taken up the only one concerning human technocratic activity: the safety and security of complex technological systems and the problem of sustainable technosphere development. This issue, despite its indisputable significance and due treatment in publications, has not reached into the idea of “confirmation and preservation of the planetary homeostasis of *Homo sapiens* population” [39]. The data on the human technocratic activity are of uncoordinated character, they are not systematized and have not been examined in their profound and complex interaction. In the analyzed publications on ecological and environmental economics issues [1,2], in most cases, the negative effects of human technocratic activity are discussed – environmental pollution, losses in manpower and material, ecological damage, etc.

We would like to note that the existence and evolution of complex technological systems is characterized not only by negative indicators. CTS (complex technological systems) are the product of mankind and constitute an integral part of its existence, part of the so-called technosphere.

Technosphere is a set of artificial and natural objects, created or modified by a purposeful human activity.

Academician A.E. Fersman has identified nine concepts in geochemistry and classification of supergene processes in the biosphere, including mechanogenesis, tehnogenesis and biogenesis. Technogenesis is a geochemical activity of human industry.

According to Vernadsky [4], at the beginning of the twentieth century the force appeared in a clear and real form, which was “possible to create a unity of mankind.” This force, on the one hand, takes the form of a logical obligation and logical indisputability of its main achievements, on the other hand, exists in the form of universality, which is its coverage of the entire biosphere, humanity, in the creation of a new stage of organization – the noosphere, or sphere of reason. Scientific thought, common to all, is first recognized as a force of geological origin, prepared by the whole course of life in the biosphere and creating a noosphere. Humanity has become unified with their lives, and we can talk about the occurrence of the anthropogenic era. The main types of industrial activities include the agro-industrial complexes, which include agroecosystems and technical facilities, plants, nuclear and thermal power stations, transnational pipelines, modern processing plants, often occupying large regions, saturated with cities with well-developed communication infrastructure, factories, plants and dams, reservoirs, arterial pipelines, power plants, development of new weapons, space exploration, etc.

“The transformation of ecosystems is an irreversible natural phenomenon. Such an impressive mankind contribution in the movement of natural processes in the biosphere suggests the possibility of escalating the current ecological crisis in the biosphere from the fluctuations to the bifurcation.” [12]

Authors are operating such concepts as danger, safety, system, ecosystem, agroecosystem, geobiocenosis, landscape, steady development, self organization etc., touching practically all types of human activity – from technocratic (technology, economy, science, development of "man-technosphere" system) to ethical (demographic problems, religious-philosophical context etc.).

Examining the problem of steady development as a whole, it is possible to select the following summarizing statements:

- some achievements of fundamental sciences have substantially accelerated technical progress, have changed relations between a human being and nature, have changed the method of the human being’s life;
- the speed of technical processes creation is considerably leaving behind the

growth of ethical standards;

- the change of moral imperative is caused also by an ecological imperative along with other reasons, violation of which can have catastrophic consequences for humanity.

Problems of environment optimization have always been extremely important for the industrialized countries. Pridneprovsk region with its powerful complex of mining, metallurgical and chemical industries, as well as exceeding the environmental feasibility of agricultural areas, of course, is the most impressive example of necessity to develop and solve the problems of technological and agricultural landscapes optimization, including a variety of aspects related to the areas reconstruction which have lost their firmness and stability due to violations of the structural and functional ecosystem interrelations.

At present the system paradigm is completed by the theory of open nonequilibrium systems. According to I.R. Prigogine [8] "... the starting point of a new agreed order" in technological landscape is surface overgrowing of anthropogenic overburden and the direction of geological morphostructure restoration for reclamation.

1. НООСФЕРНЫЕ АСПЕКТЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ОБЩЕСТВА

*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, которые обусловлены “...действием специфического инструмента, присущего лишь человеку – технологическому способу производства” [12].

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).

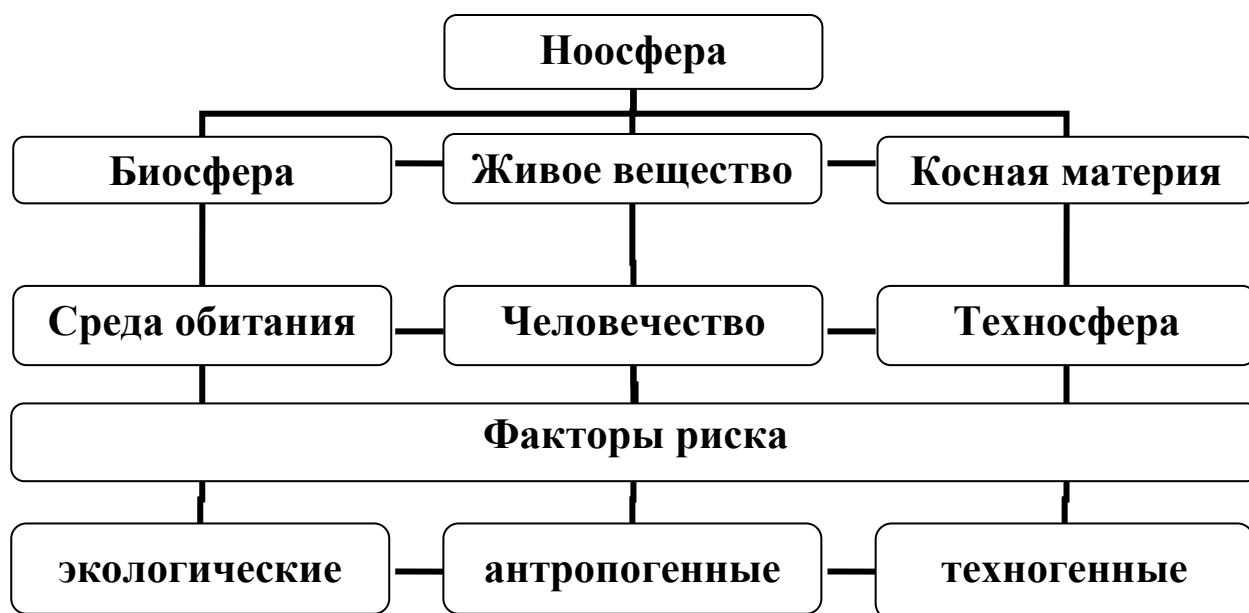


Рис. 1.1. Антропогенная система “Человек–среда обитания–творение Разума Человека” и факторы риска

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; 2011 г. – 7,0 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 И.Н. Малахова [12], доля Криворожского бассейна составляет 15–30 % мирового геохимического потока железа, а за 125 лет добыто 2,2–2,8 млрд тонн химически чистого Fe. Общее количество энергии, которая использована на создание антропогенной структуры Криворожского железорудного комбината за последние 50 лет, составляет величину порядка $5,5 \cdot 10^{17}$ Дж. Плотность потоков энергии фотосинтеза и техногенеза в Криворожском бассейне, по мнению автора, величины одного порядка!

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 10^7 тонн в год, а человечества – $2 \cdot 10^{10}$ 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 отклонение 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: беззащитно 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.

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;

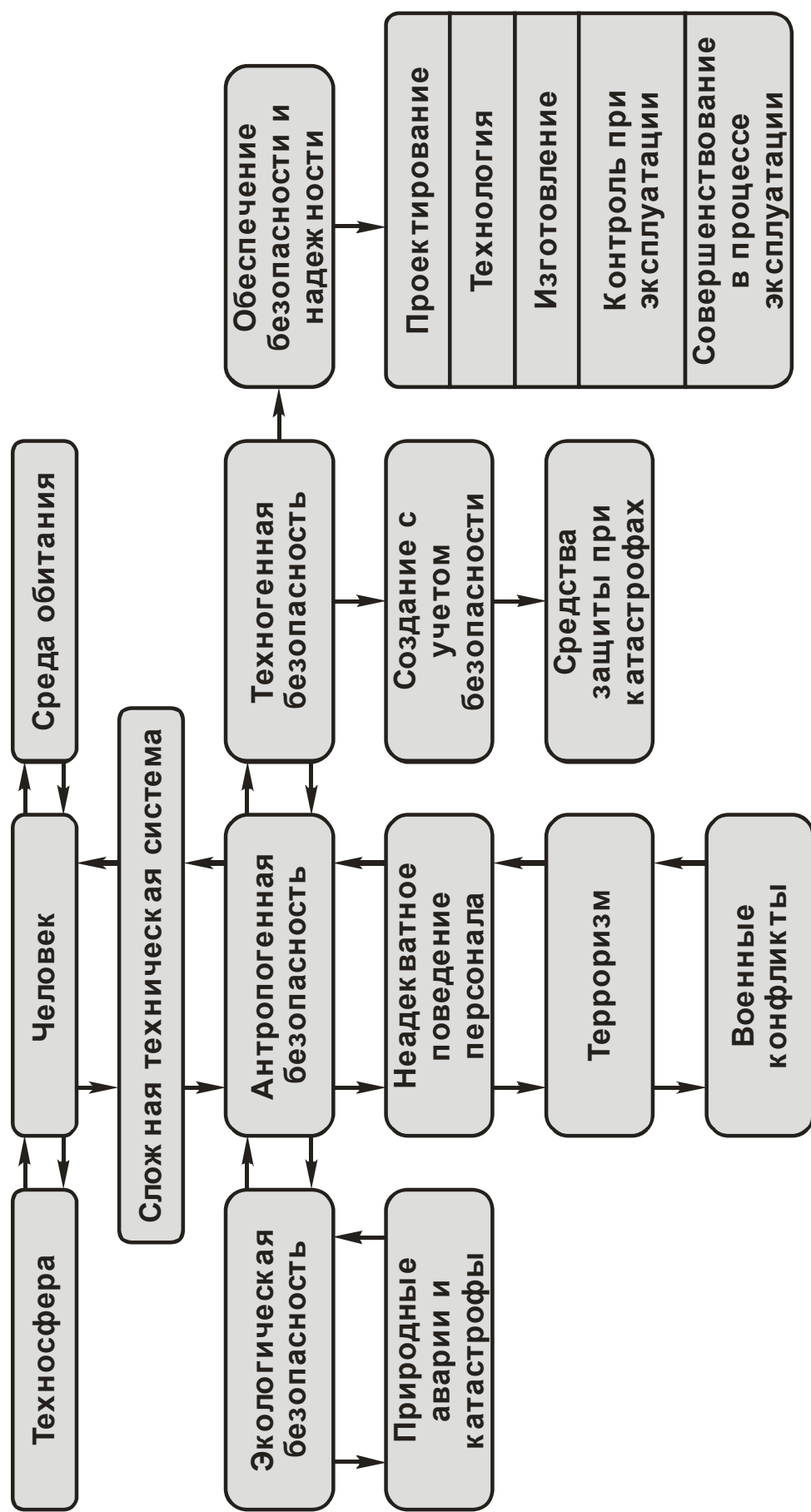


Рис. 1.2. Схема обеспечения безопасности и устойчивого функционирования СТС

- 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 – ГЛАВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ НАРУШЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ

*Техногенные экосистемы не только деградация природной среды, но и место возникновения нового порядка в биосфере.
И.Н. Малахов*

2.1. Техногенез горнодобывающего комплекса и необходимость рекультивации антропогенных морфоструктур

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].

Устойчивое развитие Приднепровского региона можно обеспечить рачительным использованием природно-ресурсного потенциала (ПРП).

Эколого-ресурсное зонирование территорий призвано установить границы хозяйственных и геохимических структур, внести изменения в использование природных ресурсов и достичь равновесия в окружающей среде.

Приднепровский регион – очень серьезный участник современных антропогенных геологических и геохимических процессов на территории Украины. Только в Днепропетровской области в значительных объемах от мировых запасов производится добыча марганцевой ($\approx 10\%$) и железной ($\approx 6\text{--}8\%$) руды, урана, титана, циркония, гафния, твердых горных ископаемых (каменный и бурый уголь). В Украине вырабатывается 20 % мирового производства ильменитовых концентратов.

Размеры и масштабы огромной “геохимической работы человека” [12], ярко демонстрирует промышленный Криворожский бассейн. Общая площадь антропогенных структур на территории Криворожского железорудного района достигает 300 км², в отвалах размещено около $8 \cdot 10^9$ тонн горных пород

литосферы (для сравнения, на территории Украины сформировано $25 \cdot 10^9$ тонн техногенных отвалов), в шламохранилищах находится не меньше $7 \cdot 10^9$ тонн шламов, объемы карьеров сегодня достигают $5 \cdot 10^9$ м³ [12]. Значительные антропогенные структуры сформированы в Никопольском марганцеворудном бассейне, Малышевском месторождении полиметаллических руд, Западном Донбассе.

Техногенез вскрывает в недрах литосферы надминеральный пласт и интенсивно “...перераспределяет вещество на земной поверхности по своим законам, столь отличным от естественных законов геологии и геохимии” [3].

Антропогенные морфоструктуры промышленных регионов, сформированные за последние 50–100 лет, следует рассматривать как составляющие техногенной геологической силы.

По данным И.Н. Малахова [12], масса горных пород, перемещенных человеком на поверхности планеты и в верхней части литосферы соизмерима с природными геологическими процессами в биосфере и составляет 10^{11} тонн в год. Автор рассчитал, что скорость формирования осадков на континентах в геологические эпохи составляла десятки миллиардов тонн в год: неоген – $2,77 \cdot 10^9$ тонн в год, кайнозой – $4,0 \cdot 10^9$, палеозой – $1,74 \cdot 10^9$ тонн в год.

Главными компонентами в природно-ресурсном потенциале промышленного Приднепровья являются минеральные (≈ 34 %) и земельные (≈ 10 %) ресурсы.

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].

Проблема исчерпаемости ресурсов техносферы 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].

Роль педосферы в разных отраслях материального производства неодинакова: земля для сельского хозяйства есть основным средством и предметом производства, для промышленности – земельные ресурсы имеют двойное значение – территориальный базис и природный биоминеральный ресурс в виде зональных почв, которые характеризуются плодородием.

В.И. Вернадский писал: “Все яснее становится нам значение почвы в биосфере – не только как субстрата, на котором живет растительный и животный мир, но как области биосферы, где наиболее интенсивно идут разнообразные химические реакции...” [5]. Академик Н.Н. Моисеев [39] утверждал, что “...почвы являются той основой, которая связывает в единое целое всю биосферу”. Разнообразные функции почв подразделяются на глобальные (биосферные) и экосистемные (биогеоценологические), отмечает академик В.А. Ковда [11].

Одним из природных трофично богатых ресурсов Украины есть 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: переуплотнение, дезагрегация, дегумификация, эрозия, дефляция, вторичное засоление, загрязнение тяжелыми металлами и пестицидами. При открытой разработке полезных ископаемых наблюдаются эроционно-деградационные процессы зональных эдафотопов, техногенно изменяется естественный почвенный покров при его селективной разработке, складировании в бурты и последующем использовании плодородного слоя почвы при рекультивации.

Кроме того, при открытой разработке месторождений полезных ископаемых формируется техногенный ландшафт со специфическими гидрогеологическим и геохимическим режимами, которые формируют интенсивные антропогенные потоки вещества и энергии. В биогеохимический круговорот вовлекаются глубинные, часто токсические соединения и элементы, обуславливающие значительные изменения количественных и качественных характеристик естественной среды – биогеохимического фона местности.

Технико-экологические системы горнорудного комплекса при открытой добыче полезных ископаемых должны включать рекультивацию земель в показатели технологичности и экологической безопасности производства.

Рекультивация – комплексная система горнотехнических мероприятий превращения техногенных ландшафтов с целью достижения экологического равновесия в новой природно-антропогенной системе и создания условий для целевого использования восстановленных территорий в различных отраслях народного хозяйства (сельское и лесное хозяйство, промышленность, рекреация и др.).

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.

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.

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 элементарного техногенного ландшафта, выравнивание поверхности отвалов. При необходимости перекрывают благоприятными породами неблагоприятные субстраты, которые встречаются в геохронологической шкале разрабатываемой литосферы. 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 эдафотопях. Фитомелиоративный период предусматривает выращивание многолетних бобовых и мятликовых трав или их смесей.

Площадь нарушенных земель в Украине составляет 156,7 тыс. га, отработанных – 51,5 тыс. га.

Темпы нарушения земель за последние 10 лет практически стабилизировались и не превышают 2 тыс. га в год. Однако объемы рекультивации техногенных ландшафтов по сравнению с нарушением земель сократились более чем в 2 раза, а ежегодные темпы восстановления нарушенных территорий снизились в 4,1 раза. В структуре рекультивированных земель пашня составляет 22,2 %.

В Днепропетровской области наибольшая площадь нарушенных земель в Криворожском, Никопольском, Широковском, Павлоградском, Томаковском и Верхнеднепровском районах. Самые большие площади земель, нарушенных горнодобывающим комплексом, в черной металлургии и угольной промышленности. На территории горнодобывающих предприятий хранится 30–40 млн м³ плодородного слоя почвы.

Важнейшим организующим фактором ускорения рекультивации земель в Приднепровском регионе и уменьшения отрицательного воздействия нарушенных территорий на окружающую среду является обоснованный план рекультивации на ближайшие 10 лет и, главное, структура направлений восстановления техногенных ландшафтов.

С учетом антропогенного формирования новых элементов рельефа, изменения микроклимата, гидрологических, физических и физико-химических условий в техногенных ландшафтах необходимо достичь биосферного эффекта: стабилизация санитарно-гигиенического, архитектурного (формы восстановленных ландшафтов), биологического состояния рекультивированных

территорий, а также повышения продуктивности восстановленных сельскохозяйственных угодий за счет агротехнических и фитомелиоративных мероприятий.

В Украине сельскохозяйственное освоение земель превышает экологически обоснованные нормы [1]. Распаханость земель Украины составляет примерно 81 %, а в таких областях, как Винницкая, Кировоградская и Тернопольская – больше 90 %. В промышленно развитом Приднепровском регионе (Днепропетровская, Запорожская, Кировоградская области) площадь пашни составляет 85–88 %. Территория Украины имеет наименьшую площадь в Европе под лесными насаждениями – 14,3 %. Кроме того, для оптимизации землепользования планируется уменьшение на 10 млн га площади пашни за счет вывода малопродуктивных сельскохозяйственных угодий [41].

По нашему мнению, недостаточно обоснованная структура направлений рекультивации обуславливает снижение агроэкологических эффектов при восстановлении техногенных ландшафтов.

Землепользование в черноземной зоне нераздельно связано с агроэкологическими аспектами природопользования: особенности агроландшафта, структура сельскохозяйственных угодий (пашня, сенокосы, пастбища, многолетние насаждения), водоиспользование, рекреация и др.

Следовательно, в черноземной зоне с учетом геологии месторождений полезных ископаемых, рыночных условий хозяйствования возможно формирование следующих структур восстановленных техногенных ландшафтов: сельскохозяйственные угодия – до 50–60 %, в т.ч. пашня 30–35 %, сенокосы, пастбища – 20–25 %, рекреационные и заповедные зоны – 10–15 %, земли вторичного промышленного использования – 5–7 %.

Эти нормативы могут изменяться с учетом землеёмкости горнорудной промышленности, которая составляет для горнодобывающего комплекса – 42,9 га, промышленности цветных металлов – 30 га, черных металлов – 23,9 га, добычи угля – 12,9 га на условную единицу капиталовложений [41]. Эти

показатели необходимо учитывать при социально-экономической оценке рекультивации нарушенных земель.

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, вскрышных породах и рекультивированных землях.

2.2. Некоторые актуальные проблемы оценки земельных ресурсов, охраны и рационального использования почв при техногенезе

Главным ресурсом Украины по удельному весу в природно-ресурсном потенциале выступает земельный фонд (44,4 %). В 2009 году земельный фонд страны составлял 60354,8 тыс. га. Более 71 % территорий занято

сельскохозяйственными угодьями. В пределах Лесостепи и Степи черноземы являются доминирующими почвами. В структуре почвенного покрова Украины на черноземы и лугово-черноземные почвы приходится примерно 49 %. Черноземная зона имеет очень большое сельскохозяйственное значение. В зоне Степи производится 42,1 % от валовых сборов зерна в стране.

В Днепропетровской области площадь пашни наибольшая в Украине и составляет 2125,0 тыс. га. За последние 20 лет в области 8 раз производилось более 3 млн тонн зерновых и масличных культур (1987–1990, 1993, 2001, 2004 и 2011 гг.). Эти цифры говорят о хороших природных свойствах зональных почв и высоком уровне производственного использования сельскохозяйственных земель.

Согласно ст. 179 Земельного кодекса Украины, территориальной основой использования и оценки земель является природно-сельскохозяйственное районирование, которое базируется на мониторинге почвенного покрова и даёт возможность на таксономическом уровне (зона, провинция, округ, регион, район) оперировать конкретными данными о почвах, их генезисе, 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 агрохимических и физических анализов, а также морфологические параметры эдафотопы следует учитывать при составлении земельных отводов для горнодобывающей промышленности, при разработке проектов, связанных с нарушением земель, снятием плодородного слоя почвы и рекультивации.

Оценка земельных участков (экологическая, экономическая, денежная), т.е. бонитировка почв – “правоспособность почв” [17], составляется для компенсации потерь сельскохозяйственного производства в результате отчуждения земель и 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].

Снятие и рациональное использование плодородного слоя почвы, мощность снимаемого плодородного и потенциально плодородного слоев почв, оценка уровня плодородия почв и отдельных генетических горизонтов почвенного профиля основных типов и подтипов почв, хранение плодородного

слоя почвы регламентируется ГОСТ 17.4.3.02-85 [28]. Однако, настоящий стандарт не обеспечивает адекватную агрохимическую оценку и технологические требования к охране плодородного слоя почвы в процессе его селективной разработки. ГОСТ имеет неточности (плодородный слой почвы использовать при биологической рекультивации) и ошибки (уровень плодородия снимаемого горизонта или его части приравнивается к уровню плодородия малопродуктивных угодий; последнее определение в агрономической литературе отсутствует, не нормируется).

Следовательно, стабильный во времени ресурсный потенциал зональных почв в виде природно-эффективного плодородия антропогенно и очень быстро эволюционирует в результате техногенеза. Эколого-экономическое состояние главного национального богатства в виде черноземов приобретает новый статус – плодородный слой почвы. Генетически и эволюционно сформированный элементарный почвенный ареал (часть педосферы) фосилизируется во временных буртах. Почва теряет способность выполнять функции воспроизводства ресурсов и среды, а также базового компонента биосферы.

Экологические функции почв (биоэнергетические, биогеохимические, гидрологические, газоэкологические и биогеоценотические) коренным образом изменились в техногенных буртах плодородного слоя почвы.

Плодородие селективно сформированного плодородного слоя зональных почв характеризуется не столько определенным набором их агрохимических свойств (содержание и запас гумуса, запасы питательных веществ, гранулометрический и минералогический состав, сложение почвы и структурное состояние, биологическая активность), сколько временем его хранения в буртах и методами “оживления техноземов” в фитомелиоративный период, новыми почвенными режимами непосредственно влияющими на рост и развитие растений. Итоговым показателем качества рекультивированных земель являются их производительность, которая характеризуется урожайностью и качеством культур, а также экологическая устойчивость восстановленного агроландшафта.

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 ДГАУ (опыты проведены под руководством академика Н.Т. Масюка [20]) установил:

1. Потенциальное плодородие гумусового горизонта чернозёма южного тяжелосуглинистого по запасам валового гумуса 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 валового 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) получается плодородный слой почвы со средним содержанием гумуса 3,1 %, 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, отражающий степень проявления эффективного плодородия отдельных генетических горизонтов чернозёма южного и их смесей по отношению к вегетативной и генеративной продуктивности ярового ячменя, имеет такую последовательность: $N > N+NR > N+NR+RNk > NR > RNk > Rk$.

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 органических, 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 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.

На некоторых участках для выемки почвы можно использовать бульдозеры, которые перемещают рекомендованную к снятию толщину 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.

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

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 ровных участках бортов карьеров с учетом расстояния последующей транспортировки плодородного слоя почвы на спланированную поверхность отвалов или использование его для землевания. 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.

Гумусовый профиль зональных почв Приднепровского региона сформирован его эволюцией, определяется не только глубиной профиля, а и свойствами в генетических горизонтах и экологическими режимами.

Экологическое функционирование гумусового профиля зональных черноземов в агроэкосистемах зоны Степи дополняется выделением пахотного слоя и отсутствием степной подстилки. Особенности функционирования гумусового профиля и системы гумусовых составляющих (C_r , C_ϕ) обусловлены зональным накоплением органического вещества, его трансформацией, минерализацией, гумификацией. Природа обусловила определенную генетическую стойкость педосферы.

При селективной разработке зональных черноземов эколого-генетическая информация органического вещества почвы антропогенно нарушается,

закономерно ухудшается состав и свойства плодородного слоя почвы по сравнению с зональным типом почв и их профильными характеристиками. Расчеты гумусового баланса зонального чернозема и плодородного слоя почвы не могут быть сопоставимы даже при абсолютно одинаковых показателях содержания органического вещества ($C_{орг}$).

Гумус имеет признаки прочности [11, 24]. Статистическая стойкость обусловлена термодинамикой гумуса в условиях своего природного образования, динамическая – непрерывным самообновлением гумуса.

Селективно разработанный плодородный слой зональной почвы, перемещается в пространстве, складывается во временные бурты (может храниться в течение 20 лет) и принимает статус фосилизированной региональной гумусосферы. В таком состоянии резко меняются темпы биогеохимии органического вещества и прежде всего количество энергетических факторов, биомассы и численности организмов.

Агрофизические показатели черноземов при селективной разработке, складировании в бурты и формировании двухъярусных эдафотопов (техноземов) значительно изменяется за счет деструктуризации, увеличения глыбистости, уплотнения структуры, снижения пористости и водопроницаемости, влагообеспечения и биологической активности. Исследованиями [11] установлено, что биомасса грибного мицелия и состояние микроскопических грибов в погребенных на 1 м почвах сухостепной зоны была меньшей на 19–53 % в сравнении с зональными почвами.

Селективно разработанный плодородный слой почвы в полях карьера – это антропогенная органо-минеральная смесь $H+HP$ или $H+HP(i)$ горизонтов черноземных почв, которая при формировании рекультивированных эдафотопов (техноземов), имеет другие энергоаккумулирующие количественные и качественные показатели.

Уже в буртах плодородного слоя почвы при почти тех же валовых общих запасах гумуса (t/m^3), его качественный состав будет существенно отличаться от зональных профильных показателей.

Согласно данным материалов почвенных обследований [16] соотношение гуминовых кислот ($C_{ГК}$) и фульвокислот ($C_{ФК}$) у черноземов изменяется с поверхности в глубину почвенного профиля. Так, у чернозема обыкновенного среднемощного малогумусного в слое 0–10 см $C_{ГК}$ составляет 33,2 % (от общего $C_{орг}$) и 24,8 % на глубине 50–60 см (НР), а у чернозема южного тяжелосуглинистого 30,9 % и 22,4 % на глубине 38–45 см; содержание $C_{ФК}$ увеличивается с глубиной с 13,2 % до 20,7 % и 10,7 % до 14,4 % соответственно. Кроме того, зональный тип гумуса по профилю (соотношение $C_{ГК} : C_{ФК}$) изменяется с 2,5 в пахотном слое до 1,2 на глубине 50–60 см у чернозема обыкновенного. Соотношение $C_{ГК} : C_{ФК}$ у чернозема южного составляет в слое 0–10 см 2,9 и 1,56 на глубине 38–45 см.

Следовательно, биосферная функция части педосферы, разработанной в карьерном поле и складированная в бурты, приобретает временный статус – законсервированный (фосилизированный) на период хранения плодородный слой почвы с измененными почвенно-экологическими функциями гумусового состояния зональных почв.

С позиции экологических парадигм, снятие плодородного слоя почвы при проведении земельных работ в карьерных полях есть рациональный прием природопользования, так как предусматривает в период горнотехнического этапа рекультивации его использование для формирования двухъярусных техноземов. За счет фитомелиорации предусматривается возобновление биосферной функции антропогенно преобразованной педосферы.

Трансформационные процессы, которые происходят при селективной разработке плодородного слоя почвы и формировании техноземов обуславливаются коренным изменением профильного гумусового состояния и свойствами специфических $C_{ГК}$ и $C_{ФК}$ кислот. Гуминовые (ГК) и фульвокислоты (ФК) отличаются между собой. ФК обладают большей агрессивностью к минеральным компонентам почвы, имеют меньшую молекулярную массу, а катионно-обменные группы составляют 800–1000 мг-экв на 100 г препарата. Для фульвокислот характерным является меньшее содержание углерода и

большее кислорода (более окисленные) по сравнению с гуминовыми кислотами [23]. Приведенные выше данные показывают, что гумусовые вещества органической части плодородного слоя почвы существенно будут отличаться от пахотного слоя и гумусового горизонта ненарушенных черноземных почв.

Следует также отметить, что технически практически невозможно разработать рекомендованную толщину гумусового и первого переходного горизонтов черноземных почв, которая при морфологическом описании профиля нормируется показателем ± 1 см, а толщина “стружки” скрепера составляет ± 10 см. Насыпной плодородный слой почвы содержит примесь карбонатного переходного горизонта, что обуславливает его вскипание от действия 10 % соляной кислоты с поверхности, то есть происходит антропогенная карбонатизация всей селективно разрабатываемой массы. Это является наиболее экоинформативным показателем отличия техноземов от зональных черноземов.

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 выполаживание 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. Период оседания отвалов изменяется в пределах от 0,5 до 5 лет и зависит в основном от геологической 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 осаждение 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 пригодных вскрышных пород и 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 горнорудных техноэкосистем очень важно знать гранулометрический состав вскрышных пород, что крайне необходимо для обоснования устойчивого прогрессивного развития биогеоценологических 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 глинистого.

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, пиролюзит 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 R_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 мергелистой 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 отделностей.

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 некоторых физических 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, плотностью субстратов и 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.

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 эдафотонах 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).

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
Насыпной слой чернозема					
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. Легкогидролизующий 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
Лессовидный суглинок					
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. Легкогидролизующий 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

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 эдафотопы: 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 эдафотопы 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.

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). 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 легкогидролизуемого 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.

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
<i>Красно-бурая глина</i>					
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
<i>Серо-зеленая глина</i>					
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

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 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-бурыми 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 субстратов 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-бурых 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 многих лет. 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.

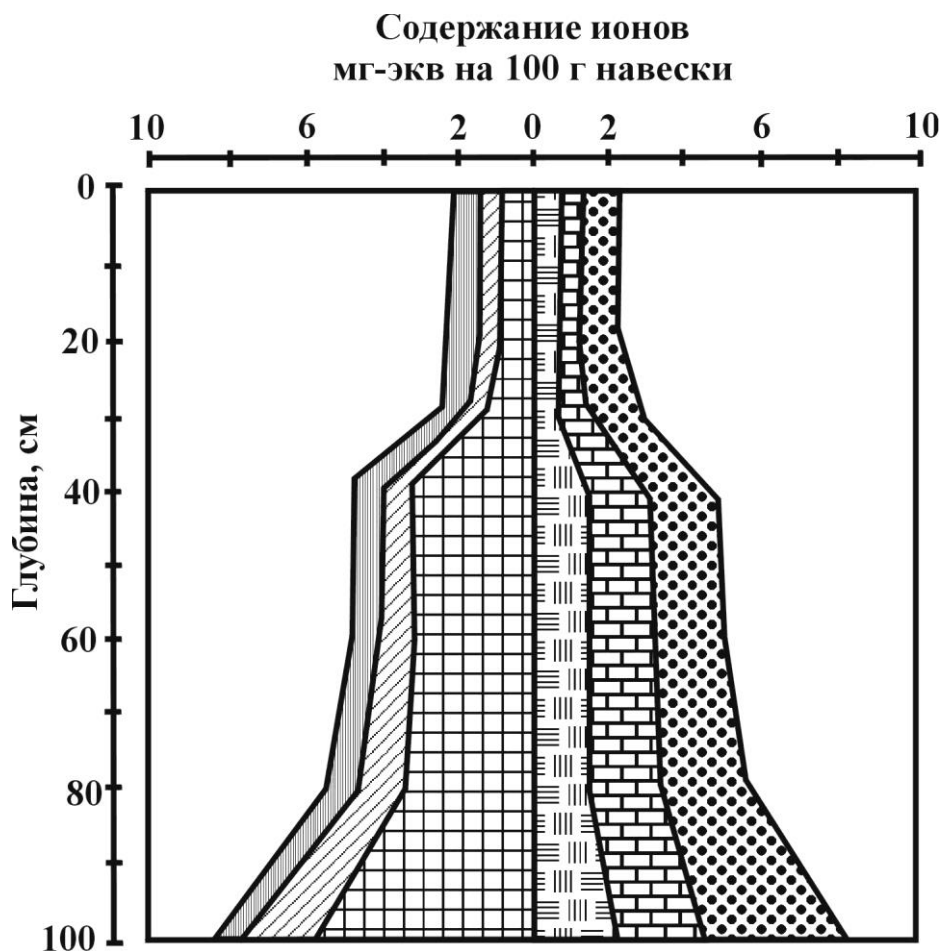
2.4.6. Соленакопление в рекультивированных эдафотопах

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.



Условные обозначения:



Рис. 2.1. Распределение водорастворимых солей в профиле
лессовидного суглинка

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.

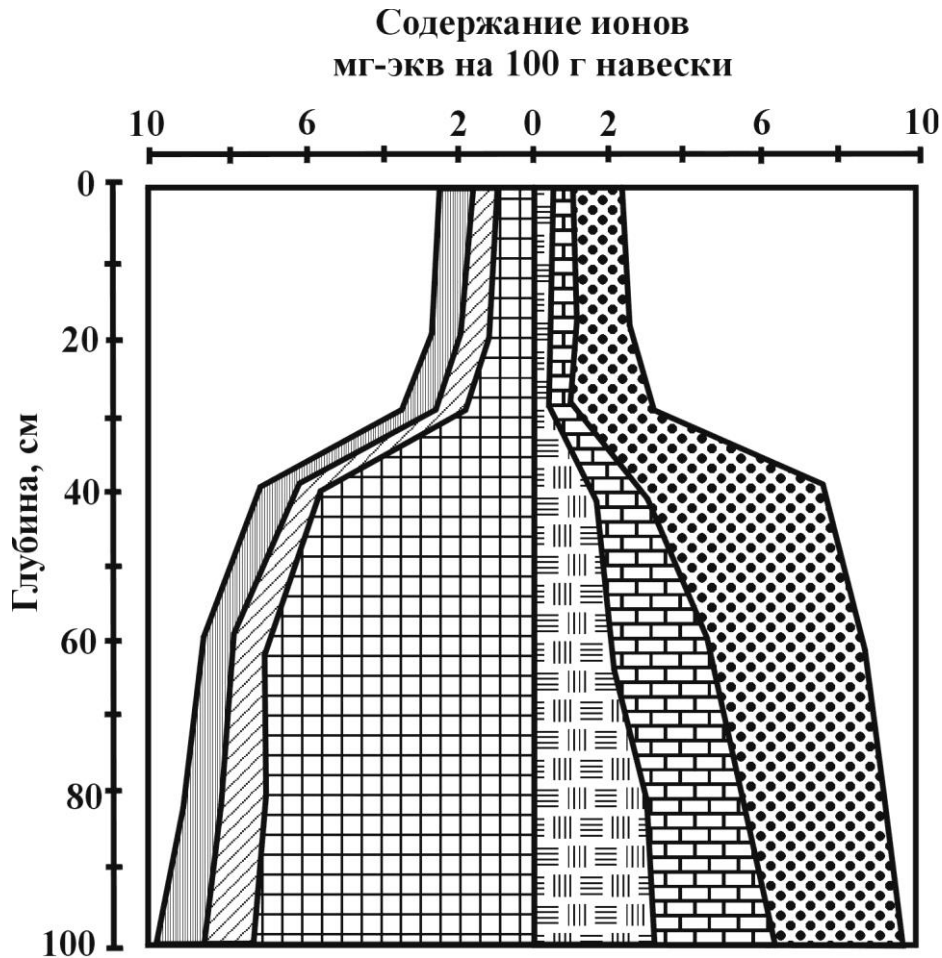
В анионном составе преобладал сульфат-ион, количество которого с глубиной резко увеличивалось. С глубины 40 см повышалось содержание хлоридов. Среди катионов больше всего было Na^+ , содержание которого в слое 0–40 см в среднем равнялось 1,39 мг-экв на 100 г навески, а количество Ca^{2+} (0,79 мг-экв) 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.

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.

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).



Условные обозначения:



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

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.

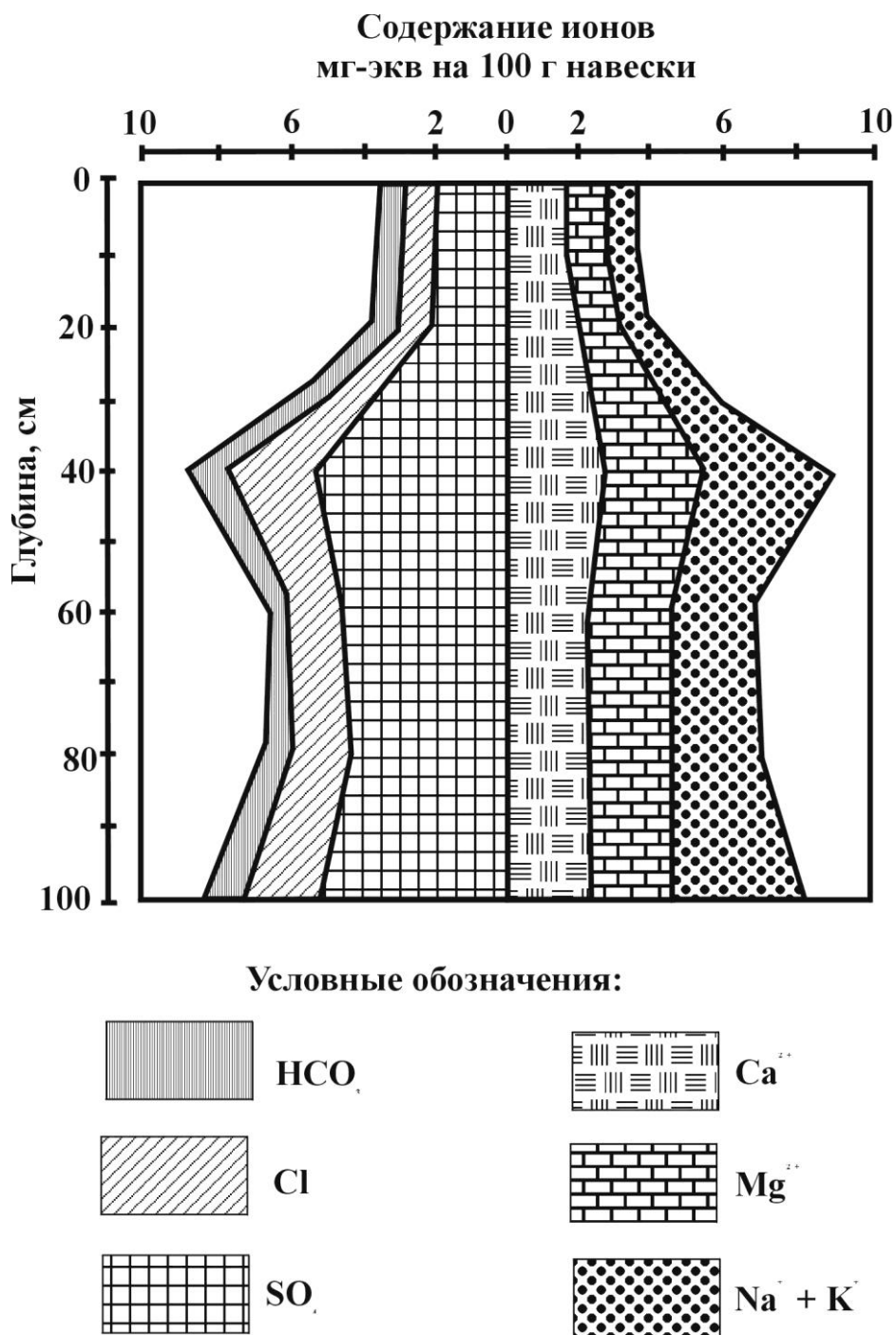


Рис. 2.3. Распределение водорастворимых солей в профиле
серо-зеленой глины

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.

Рассоление верхнего слоя и накопление легкорастворимых солей на определенной для каждого эдафотопа 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 специфичного 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]. Информационные потоки в

биоте на 15 порядков превосходят реально достижимые максимальные информационные потоки в техносфере [8]!

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 $1,368 \text{ кВт/м}^2$. Средняя интенсивность солнечного излучения, которое достигает земной поверхности, составляет 342 Вт/м^2 . В Украине интенсивность солнечной радиации изменяется с севера на юг с $115\text{--}145 \text{ Вт/м}^2$ на Полесье до $185\text{--}215 \text{ Вт/м}^2$ 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).

Интересные данные приводит Н.И. Малахов [12] для техногенных систем Криворожского бассейна. “В результате выветривания литифицированные породы переходят в процессе гипергенеза в рыхлые мелкоземы... Годовая энергия выветривания, аккумулирующаяся в поверхностной энергии элювиального слоя глины автором оценена в $0,4 \cdot 10^{21}$ Дж/год, а поверхностная плотность энергии выветривания в элювиальном слое – $0,54 \cdot 10^3$ Дж/см² × год”.

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 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 эдафотопках (лессовидные суглинки, красно-бурая и серо-зеленая глины) или диагностики начальных деградиационных 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 $\text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$); 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 азотофиксации 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 мицелле (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 эдафотопы 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 мм² 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 эдафотопы 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 последствия 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 CO_2 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...” (Тихоненко и др., 2005).

В контексте системы парадигмы В.В. Докучаева (1954) “четвертого царства природы”, В.И. Вернадского (1991) “благородной пленки” – 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.

В многолетних стационарных опытах на литоземах, заложенных в 1971 г. и продолжающихся до настоящего времени, то есть за 40 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 998,2 ц/га.

Общая биопродуктивность антропогенной агроэкосистемы с учетом побочной продукции и корней за этот период достигает 201 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 литоземов содержание органического вещества (молодого гумуса) в серо-зеленой глине увеличилось на 1,13 % и составило 1,31 % (при содержании в 1971 году – 0,18 %).

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 на вскрышных породах.

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 (1984) утверждать, что “субстраты горных пород ... преобразуются в эколого-мезотрофные (среднего плодородия) эдафотопы”.

После фитомелиоративного периода в литоземах формируется биогенность эдафотопа 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 природоохраный 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 элементарного техногенного ландшафта с отсыпкой потенциально плодородных лессов, лессовидных суглинков, незасоленных красно-бурых суглинков, красно-бурой, и/или 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 3°. В случае использования восстановленных земель под лесные насаждения уклон можно увеличить до 5–10° (склоны простой и сложной формы).

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 эдафотопа 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.

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. Малахов И. Н. Новая геологическая сила / И. Н. Малахов. – Кривой Рог, 2009. – 312 с.
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 лісгосподарського 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.] // *Экологія 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. ГОСТ 14.4.3.02-85. Почвы. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ. – Постановление ГК СССР по стандартам от 5.05.1985 г.
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. Смаглий О. Ф. Агроекологія / О. Ф. Смаглий, А. Т. Кардашов, П. В. Литвак та інші. – К. : Вища освіта, 2006. – 671 с.
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. Нанесение плодородного слоя почвы автоскрепером, 1974 г.



Рис. 8. Посевы эспарцета песчаного на опытно-производственном стационаре ДГАУ на 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. Общий вид опытного стационара по рекультивации земель, 1978 г.



Рис. 15. Посевы кукурузы на зерно по красно-бурой глине на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 1980 г.



Рис. 16. По дороге на опытно-производственный стационар ДГАУ в Александровском карьере, 2010 г.



Рис 17. Посевы пшеницы озимой по насыпному плодородному слою чернозема на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 18. Посевы трав по лессовидному суглинку на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 19. Донник желтый на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 20. Многокомпонентная травосмесь на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 21. Травосмесь бобовых и злаковых культур на Запорожской биоэкологической станции ДГАУ и Орджоникидзевского ГОКа, 2010 г.



Рис. 22. Лесные насаждения на Александровском опытно-производственном стационаре ДГАУ, 2010 г.



Рис. 23. Люцерна синегибридная на техноземе в фитомелиоративный период, 1972 г.

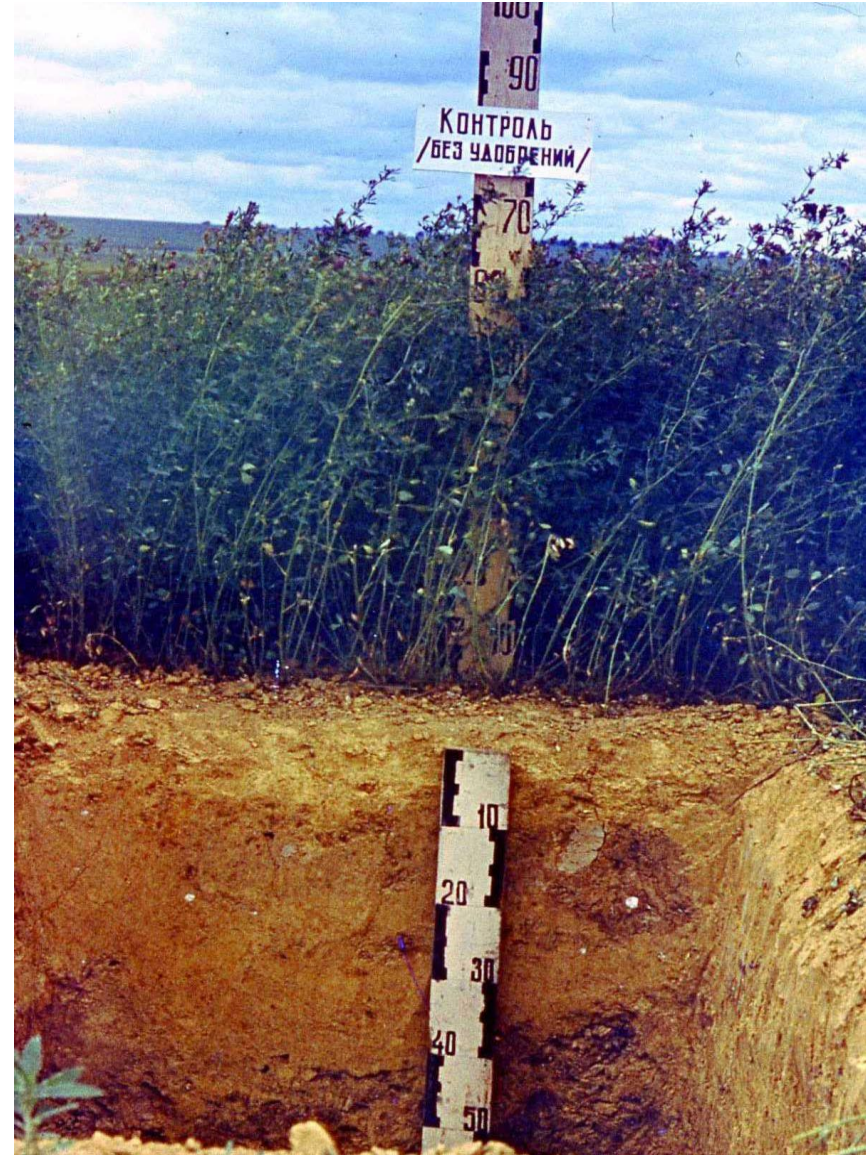


Рис. 24. Люцерна синегибридная на литоземе в фитомелиоративный период, 1972 г.



Рис. 25. Эспарцет песчаный на серо-зеленой глине, 1975 г.



Рис. 26. Озимая пшеница на техноземе, 1978 г.

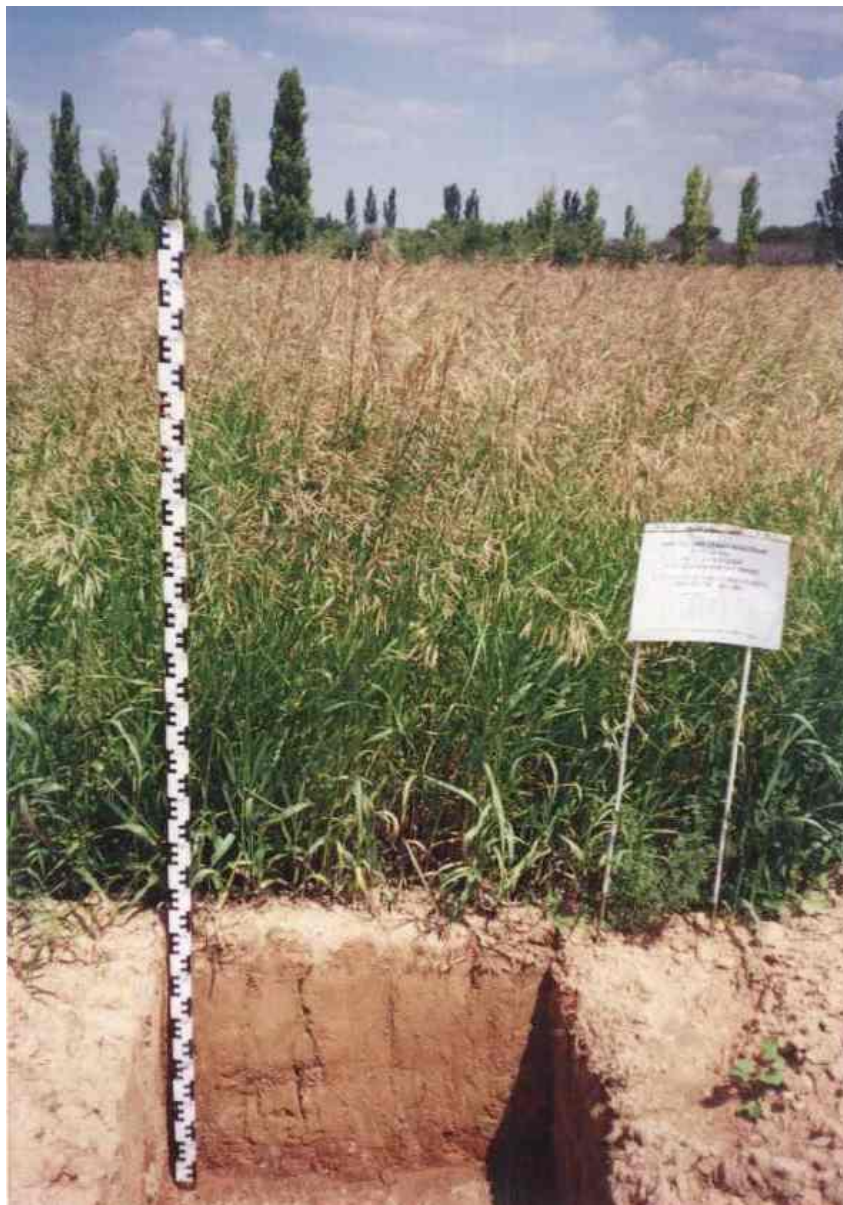


Рис. 27. Костер безостый на литоземе, 1996 г.



Рис. 28. Костер безостый на литоземе, 1996 г.

Александр Анатолиевич ДЕМИДОВ
Анатолий Степанович КОБЕЦ
Петр Владимирович ВОЛОХ
Иван Харлампиевич УЗБЕК
и другие

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
НАРУШЕННЫХ ПРИРОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ**

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

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

Підписано до друку 29.03.2012. Формат 60×84/16.
Обл.-вид. арк. 12,3. Ум. фарбо-відб. 15,7. Ум. друк. арк. 15,7.
Наклад 500 прим. Папір офсетний. Друк офсетний. Зам. № 368

Издательство «Свидлер А.Л.»
49041, г. Днепрпетровск, а/я 2493, тел. /факс +38(056)776-39-16
Идентификатор издателя в системе ISBN: 627

Отпечатано в типографии «Адверта»
49000, Дніпропетровськ, вул. Миронова, 15, офіс 316
тел./факс +38(056)798-22-47