

Кобец А.С., Волох П.В., Узбек И.Х., Демидов А.А., Дырда В.И.

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ СЛОЖНЫХ ЭКОТЕХНОСИСТЕМ В КОНТЕКСТЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

*(на примере восстановления техногенных ландшафтов при от-
крытой разработке полезных ископаемых)*

Розглядаються проблеми стійкого розвитку в контексті рекультивациі земель, порушених при відкритій розробці корисних копалин.

STABLE DEVELOPMENT OF COMPLEX ECOTECHNOSYSTEMS IN THE CONTEXT OF RECULTIVATION OF DISTURBED SOIL

Problems of stable development in the context of reclamation of soil, disturbed by open working of mineral resources, are considered.

Рост численности городов, развитие промышленных комплексов, строительство гидротехнических сооружений, дорог, газо- и нефтепроводов, линий электропередач и многое другое приводит к дальнейшему увеличению площади, отчуждаемой из сельскохозяйственных угодий. Особенно большая трансформация природных ландшафтов происходит при добыче полезных ископаемых.

В Украине на долю сельскохозяйственных угодий приходится 70,2 % от общей земельной площади, 56,9 % территории занято пашней; площадь нарушенных земель составляет около 160 тыс. га.

При открытой разработке полезных ископаемых масштабы технократической деятельности человека так велики, что могут быть сравнимы с результатами деятельности геологических процессов. Например, только на Никопольских ГОКах в Днепропетровской области объем вскрыши составлял более 200 млн. м³ [1], а в КМА (Россия) – 1млрд. 245 млн.м³/год [2].

Законом Украины «Об охране земель» определено, что «рекультивации подлежат земли, которые испытали изменения в структуре рельефа, ... в результате проведения горнодобывающих, геологоразведочных, строительных и других работ» [3].

При открытом способе добычи полезных ископаемых мощные машины и механизмы снимают геологическую толщу отложений до полезных ископаемых. Перемещение огромных масс селективно разрабатываемых зональных почв и вскрышных пород, вызывает коренное изменение элементов современной географической среды (рельеф, водоёмы, растительный и животный мир), геологического и гидрогеологического строения верхнего слоя литосферы (до (200-300) м в глубину).

Техногенез обуславливает динамическую антропогенную геологию в районе (регионе) месторождения полезных ископаемых и «...геохимически переделывает мир» [4]. Результатом проведения горных работ являются качественно новые геотехнические образования – техногенные ландшафты или экотехносистемы, находящиеся в постоянном количественном и качественном взаимодействии с окружающей природной средой. Антропогенный ландшафт техногенной литосферы

соприкасается с атмосферой и включается в современные геохимические циклы круговорота веществ и энергии.

Рекультивация земель – это комплекс мероприятий (подготовительных, технических и биологических) по восстановлению хозяйственной, санитарно-гигиенической и эстетической ценности техногенных ландшафтов, улучшение условий окружающей среды и безопасности жизнедеятельности человека.

Основные направления рекультивации земель в степной зоне Украины: сельскохозяйственная, лесотехническая, водохозяйственная, рекреационная, санитарно-гигиеническая.

Процесс рекультивации техногенных ландшафтов состоит с трёх этапов: моделирование стратегии и направлений рекультивации; горно-технический; биологический (фитомелиоративный).

Первые исследования по сельскохозяйственной рекультивации начали проводиться Днепропетровским сельскохозяйственным институтом с 1962 г. и по расширяющейся междисциплинарной научно-практической программе продолжают до настоящего времени проблемной лабораторией по рекультивации земель Днепропетровского государственного аграрного университета.

В 1970 г. научными сотрудниками агроуниверситета и руководством треста «Оржоникидземарганец» на территории Запорожского карьера был создан стационар, а с течением времени, биологическая станция по мониторингу техногенных ландшафтов и рекультивации земель общей площадью больше 100 га. В настоящее время исследования проводятся на площади 44 га. В середине 70-х годов прошлого столетия, когда не лимитировалось финансирование научных исследований по данной теме, на стационарах агроуниверситета Верхнеднепровского ГМК (площадь 23 га), Керченского ЖРК (площадь 5 га) и шахтных полях Западного Донбасса (7 га) проводились комплексные исследования на техногенно нарушенных и рекультивированных землях.

Научно-исследовательской работой соискателей и аспирантов с 1962 г. руководил проф. Бекаревич Н.Е., который вместе с проф. Колбасиным А.А. возглавляли проблемную лабораторию по рекультивации; земель, в последнее время эти работы возглавляет проф. Кобец А.С.

Результаты научных исследований по горнотехнической и биологической рекультивации представлялись на международных выставках, ВДНХ СССР и УССР, где отмечались дипломами, золотыми, серебряными и бронзовыми медалями.

Сотрудники проблемной лаборатории по рекультивации земель принимали участие в работе многочисленных международных конгрессов, симпозиумов, конференций и совещаний по проблемам восстановления техногенных ландшафтов и охраны окружающей среды.

На основе многолетних исследований на Оржоникидзевском ГОКе и Верхнеднепровском ГМК разработаны рекомендации по сельскохозяйственной рекультивации нарушенных земель. Они используются многими горнорудными предприятиями при восстановлении техногенных ландшафтов, стали общепризнанными по этой проблеме у специалистов СНГ и многих стран. Усовершенствование технологии горнорудных вскрышных и отвальных работ при открытой до-

быче полезных ископаемых создали условия для успешной рекультивации земель и значительно снизили затраты на проведение этих работ.

Коллектив научных сотрудников проблемной лаборатории по рекультивации земель агроуниверситета почти за полувековой период опубликовал более 1150 научных работ в т.ч. 85 за рубежом. Опытные стационары посетили ученые стран СНГ, США, Дании, Чехии Англии, Венгрии, Испании, Португалии, Италии и другие.

Днепропетровский аграрный университет в настоящее время, с учетом междисциплинарной научно-практической интеграции ВУЗА и горнорудных предприятий, является ведущим центром восстановления техногенных ландшафтов в Украине.

Сущность научных достижений коллектива научных сотрудников агроуниверситета сводится от констатации некоторого стационарного состояния техноэкосистем или техногенного ландшафта (самозаростание отвалов) к антропогенной динамике формирования техноземов, литоземов, хемоземов, к анализу абиотических и биотических факторов при рекультивации земель и их использовании на основе биогеохимии классических работ В.И. Вернадского.

Фундаментальные исследования научной школы ДГАУ по рекультивации земель сводятся к следующему.

Комплексными многолетними исследованиями испытаны 22 горные вскрышные породы в чистом виде и их смеси в процессе естественного зарастания, а также при возделывании на них 32 видов сельскохозяйственных культур в вегетационных и полевых опытах [2, 7]. На различных вариантах рекультивированных земель, а также способах предпосадочной подготовки техногенных эдафотопов испытано около 20 пород и сортов плодовых и ягодных культур [5], 15 видов лекарственных трав [6].

2. Важнейшим результатом многолетних, широкомасштабных (от Керченского ЖРК до Курской магнитной аномалии) исследований явилось установление потенциального плодородия у нефитотоксичных вскрышных горных пород (постулат Н.Т. Масюка [2]; микробиологический профиль, ферментативный пул литоземов и транслокационный процесс у бобовых трав И.Х. Узбека [7]). 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 субстрат – 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 (10,4-19,7) 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.

3. Обосновано глубину снятия плодородного слоя почвы при селективной разработке месторождений полезных ископаемых в зоне Степи Украины. Горно-

рудным предприятиям рекомендуется производить снятие плодородной части профиля чернозема южного до глубины (45-50) см, чернозема обыкновенного – (60-70) см, чернозема оподзоленного – (50-60) см и чернозема типичного до глубины 80 см.

4. При рекультивации земель с созданием техноземов необходимо учитывать, что плодородный слой почвы значительно отличается от зональных почв 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.

5. В процессе изучения вскрышных горных пород (лабораторные и вегетационные исследования) и их сельскохозяйственного освоения открыты эколого-биологические эффекты, методы индикации техноэкосистем: эффект мега-, эври-, олиго- и мезотрофов, азотфиксирующий эффект, эффект парования на литоземах, эффект инкуляции [2], фитомелиоративный эффект возделывания люцерны и эспарцета на литоземах [2, 7, 8], транслокационный эффект люцерны посевной и эспарцета песчаного, эндодинамический эффект формирования пула микроорганизмов на вскрышных породах, эффект гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов, доказана возможность использования особенностей развития корневых систем люцерны и эспарцета, микроорганизмов, активность ферментов как диагностический признак эколого-биологической оценки различных эдафотопов [7].

6. Впервые разработана математическая модель расчёта эколого-биологических характеристик корневых систем многолетних бобовых трав (поверхность корней, см², длина корней, см, насыщенность корнями эдафотопов, %), установлены экологические особенности строения и распределения фракций корневой системы (> 5 мм, 5-1, 1-0,5, 0,5мм) люцерны посевной и эспарцета песчаного в литоземах. Клубеньковые бактерии *Rhizobium meliloti* *Rhizobium simplex* имеют высокую экологическую пластичность, образуют огромное количество клубеньков (24-131) шт/растение и эффективно поглощают азот атмосферы [7].

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 достигают (3100-4300) кг/га, а обогащение метровой толщи эдафотопа составляет на уровне (2400-3000) кг/га.

8. Определено качество сельскохозяйственной продукции (сено многолетних бобовых трав, сено мятликово-бобовой травосмеси, сено зерновых мятликовых культур, зерно озимой пшеницы и ярового ячменя, хлебопекарные свойства муки озимой пшеницы), выращиваемой на рекультивированных землях.

9. Установлено изменения агрохимических и агрофизических свойств техногенных эдафотопов при их сельскохозяйственном освоении, изучен начальный процесс почвообразования при естественном зарастании отвалов и культурный почвогенез на литоземах. Определены [9] геохимические изменения в техноземах

и литоземах, сложенные с поверхности лессовидными суглинками, красно-бурой и серо-зеленой глиной.

10. Изучены экономические аспекты рекультивации земель (создана система экономического регулирования, обеспечивающая 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) [10].

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

11. Расширено и углублено понятие агроэкосистема, введено в экологию новое понятие – плодородие биогеоценотической системы, которое характеризуется экотопическим объемом и его биотической емкостью [2]. Определена цикличность и сукцессионная динамика общей численности микроорганизмов и их отдельных физиологических групп на литоземах [7]

12. Определены агроэкологические основы устойчивого развития садовых агроценозов в рекультивированных ландшафтах степной зоны Украины. Установлен достаточно высокий биологический потенциал плодовых растений, которые, будучи приобретённый в процессе филогенеза, проявился весьма полно на рекультивированных землях [5].

13. На основании многолетних исследований разработаны эколого-биологические классификации горных пород [2, 7]. В основу оценочных критериев положено минералогический и гранулометрический состав, физические и физико-механические свойства, микробиологическое тестирование. В работах [2, 7, 8] все испытанные горные породы разделены на 5 классов пригодности для конструирования стратиграфии рекультивированного эдафотопа и использования литоземов как сельхозугодий.

Экологические режимы зональных чернозема обыкновенного и чернозема южного, а также плодородный слой подтипов почв (смесь $H+H_p/k+Ph_k$; $H_p(i)+Ph_{ik}+P(h)k$) по большинству своих параметров отличаются друг от друга, и особенно разнопланово, от вскрышных пород.

Насыпной плодородный слой почвы формируется при селективных вскрышных работах (снятие, как правило, скреперами, складирование в бурты, нанесение на выровненную поверхность отвалов и планировка при создании техноземов) и представляет собой антропогенную смесь верхних генетических горизонтов особых природных образований – зональных черноземов.

Специфичность трофности плодородного слоя почвы и техноземов определяется прежде всего нарушенным строением почвенного профиля и его генетических горизонтов, профильным распределением гумуса и его качество ($C_{гк} : C_{фк}$) в техноземах, эффективное плодородие смеси $H + H_p + Ph_k$ горизонтов меньше, чем

горизонта Н, почвенно-экологическими режимами (прежде всего карбонатность плодородного слоя почвы с поверхности).

Геологические отложения Никопольского марганцеворудного бассейна на основании классификации [2] и дополнений авторов о невозможности сопоставлять зональные почвы или их плодородный слой с вскрышными породами, разделены на 4 класса: пригодные, среднепригодные, малопригодные и непригодные.

Рассматривая основные вскрышные породы марганцеворудного бассейна и роль биоты в почвообразовании на литоземах (активность окислительно-восстановительных ферментов) был установлен каталитический ряд субстратов: красно-бурая глина → серо-зеленая глина → лессовидный суглинок [7].

14. Направленный фитомелиоративный средообразующий эффект многолетних бобовых прокариотов и микроорганизмов – важнейший результат фундаментальных достижений по биологической рекультивации, подтверждение концепции В.И. Вернадского об организующей, геологической роли живого вещества, в явлениях миграции и распределения элементов в литоземах.

Средообразующий эффект люцерны и эспарцета определяется биологической массой многолетних бобовых трав в фитомелиоративный период, биогенностью (активность, количество микроорганизмов и ферментов, качественные показатели корней и скорость их минерализации) литоземов, продуктивностью последующих зерновых мятликовых культур [2, 7, 8].

Совершенно очевидно, что количественные изменения агрохимических показателей вскрышных пород в процессе их сельскохозяйственного освоения с 1971 по 2009 год, свидетельствуют об ускоренном процессе почвообразования под воздействием направленных культурофитоценозов. Люцерна посевная и эспарцет песчаный вместе с азотфиксаторами обогащают (0-20) см литоземов в среднем 350 кг/га азота, 45 кг фосфора, 110 кг калия и 290 кг/га кальция.

Темпы ежегодной аккумуляции энергии в органических компонентах литоземов под воздействием культурного грунтогенеза очень высокие и составляют (8,2-14,0) ГДж/га [9]. Содержание гумуса за 38-летний период у серо-зелёных мергелистых глин увеличилось до 1,31 % (0,18 % после создания литозема [11]).

15. Исследования по рекультивации земель на стационарах Днепропетровского государственного агроуниверситета (Никопольский марганцеворудный, Керченский и Криворожский железорудные бассейны, Вольногорском месторождении полиметаллических руд и шахтах западного Донбасса) позволили определить основные модели восстановленных земель [2, 7, 8, 9].

Модель первая – универсальная, возделываются основные сельскохозяйственные культуры. Предусматривает нанесение плодородного слоя почвы толщиной не менее 50 см на селективно отсыпанную пригодную горную породу. Плодородный слой почвы (смесь 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 сенокосов и пастбищ. На выровненной поверхности техногенных карьерных ландшафтов должны быть пригодные или смесь пригодных и среднепригодных вскрышных пород на которых в период биологическо-

го этапа рекультивации осваиваются фитомелиоративные севообороты насыщенные на 60-80 % многолетними бобовыми травами.

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 см.

Модель четвертая. Для создания плодовых насаждений на восстановленных землях целесообразно использовать траншейный (1,0×0,7 м) или луночный способ (1,4×1,0×0,7 м) применения плодородного слоя почвы в общем массиве литоземов [5].

Модель пятая. Предложена [2] универсальная технология создания высокоплодородных техноземов. На спланированную поверхность техногенных отвалов наносится водоупорный слой из незасоленных глин ((40-50) см), затем завозится слой лессовидного суглинка (25 см), вносятся органические удобрения или плодородный слой почвы, и проводится вспашка, после завозится еще 25 см слой лессовидного суглинка, вносится органоминеральная смесь и вновь проводится вспашка. На таком эдафотопе в течение 3-4 лет возделываются многолетние бобовые травы. Затем, после определившихся просадок, осуществляется детальная планировка и наносится 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 и др.) проводится с целью охраны прилегающих территорий от загрязнения. Профиль эдафотопа определяется как технологическими возможностями предприятий, так и экологической целесообразностью (фильтрационные, водоупорные слои).

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

Модель восьмая – лесохозяйственно-заповедная. Создание на нарушенных ландшафтах условий для механической посадки разнотипных лесонасаждений. На нарушенных землях Орджоникидзевского ГОКа (Богдановский и Александровские карьеры) созданы заповедники как вторичные устойчивые экотехносистемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генсирук С.А., Нижник М.С., Мищенко В.А. Эколого-биологические аспекты природопользования. – К: Наук. думка, 1982. – С. 145-149.
2. Масюк Н.Т. Рекультивация земель в Украине: фундаментальные и прикладные достижения // Вісник аграрної науки. – 1998. – С. 15-21.
3. Закон Украины «Про охорону земель». – К., 2003. – 7 с.
4. Ферсман А.Е. Геохимия. – Л.: ОНТИ, 1934. – Т. 2. – 352 с.
5. Чабан И.П. Опыт создания и рационального использования высокопродуктивных садовых агроценозов на рекультивированных землях // Эколого-биологические и социально-экономические основы с.-х. рекультивации в степной черноземной зоне УССР. Тр. ДСХИ. – Днепропетровск, 1984. – Т. 49. – С. 132-142.
6. Бондарь Г.А., Карпов Т.П. Лекарственные растения на рекультивированных землях марганцеворудных отвалов. В кн.: Эколого-биологические и социально-экономические основы с.-х. рекультивации в степной черноземной зоне УССР // Тр. ДСХИ. – Днепропетровск, 1984. – Т. 49. – С. 124-131.
7. Узбек І.Х. Еколого-біологічна оцінка едафотопів техногенних ландшафтів Степової зони України (на прикладі Нікопольського марганцеворудного басейну): Автореф. дисс. док. біол. наук. – Дніпропе-

- тровськ, 2001. – 36 с.
8. Волох П.В. Фітомеліоративний ефект бобових агроценозів на рекультивованих землях Верхньодніпровського ГМК // Відновлення порушених природних екосистем. – Донецьк, 2008. – С.118-121.
 9. Шемавнев В.И. и др. Устойчивое развитие сложных экосистем. – М. – Днепропетровск, 2005. – 294 с.
 10. Олейник В.Я. Методологические вопросы оценки эффективности рекультивации земель // Эколого-биологические и социально-экономические основы с.-х. рекультивации в степной черноземной зоне СССР // Тр. ДСХИ. – Днепропетровск, 1984. – Т. 49. – С. 155-163.
 11. Масюк Н.Т. Эколого-биологические эффекты открытые на горных породах в процессе их изучения и сельскохозяйственного освоения // Эколого-биологические и социально-экономические основы с.-х. рекультивации в степной черноземной зоне СССР. Тр. ДСХИ. – Днепропетровск, 1984. – Т. 49. – С. 33-70.
 12. Узбек И.Х., Горобец Н.Д. Опыт возделывания многолетних бобовых трав на третичных глинистых отложениях // Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых. – Тарту, 1975. – С. 171-180.