



ЭКОЛОГО-АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЛАМОВ МЕДНОРУДНЫХ ПРОИЗВОДСТВ БОЛГАРИИ

Э.А. ГОЛОВКО, Т.С. ШРОЛЬ, Н.Э. ЭЛЛАНСКАЯ, И.Г. ХОХЛОВА

Национальный ботанический сад им. Н.Н. Гришко НАН Украины
Украина, 01014 Киев, ул. Тимирязевская, 1

Аллелопатические и микробиологические исследования биологической рекультивации шламов меднорудных производств показали, что под влиянием выращивания сельскохозяйственных культур происходит колонизация субстратов агрономически важными группами микроорганизмов. При этом наблюдаются активное первичное почвообразование и снижение фитотоксичности субстратов.

Влияние технического прогресса в XX в. на биологический компонент окружающей среды достигло таких масштабов, что под угрозой попало само существование биоса — жизни на Земле. Поэтому развитие науки в XXI в. следует рассматривать с точки зрения восстановления экологического равновесия в природе.

Греческая ученая А. Владрианос-Арванитис [3] (Научно-производственный центр “Эко-тор”) определяет биос как объединяющую силу, способную обеспечить гармоничное сосуществование всех форм жизни. При этом биополитика, биодипломатия, биозаконодательство, биоэтика, биотехнология, биоархитектура, биотеология и другие понятия системы ценностей должны служить основой концепции мирной гармоничной коэволюции биоса на Земле — уникального божественного дара.

В настоящее время мировое сообщество обеспокоено постоянно возрастающим антропогенным воздействием на природные экосистемы и особенно на агрофитоценозы. Наряду с кислотными дождями, выделением

частичек золы и оксидов азота несомненную опасность для здоровья людей представляют все более широко и целенаправленно применяемые гербициды и инсектофунгициды. Это приводит к необратимым изменениям в экосистемах по всей цепи миграции веществ [1]. Классическими работами по фундаментальной аллелопатии А.М. Гродзинского [6], Э.А. Головки [4], Н.М. Матвеева [7], П.А. Мороза [9], В.Д. Рощиной, В.В. Рощиной [11] показано, что взаимодействие между организмами в биогеоценозах — важнейший экологический фактор сохранения и воспроизводства растительных ресурсов.

Современный анализ научных концепций о биосфере показывает существенную экологическую роль растительных выделений разнообразнейших фитоценозов в формировании микробного сообщества и плодородия почвы [4, 12]. Учитывая коррелятивную зависимость показателей экологии окружающей среды и аллелопатии, Р. Виллис (R. Willis) [13] предложил использовать термины: “аллелобиология”, “аллелохимия”, “биохимическая экология”. Таким образом, фундаментальные теоретические аспекты аллелопатии имеют свое воплощение в ре-



шении прикладных задач охраны окружающей природы.

По инициативе Украинского комитета защиты мира и научно-технического комплекса "Природа" был заключен договор с фирмой "Полимет", на основании которого нами проведены производственные опыты по закреплению поверхностей шламохранилищ в Болгарии (районы Беньково и Медет).

Одной из важных задач, которые возникают при сельскохозяйственном освоении шламов обогатительных фабрик медно- и железорудных производств, является необходимость постепенного повышения их плодородия с целью введения в землепользование. Это может быть достигнуто путем интродукции таких видов сельскохозяйственных и дикорастущих растений, которые бы способствовали активизации микробиологических процессов в шламах. И несмотря на то что субстрат благоприятен для сельскохозяйственного освоения, предпочтение следует отдать растениям-сидератам, имеющим большую фитомассу, корневые выделения и биомасса которых не обладали бы высокой токсичностью, были бы легко гидролизуемыми и инициировали микробные комплексы, которые обеспечивали бы стабильное нарастание активности почвообразовательных процессов в субстрате.

Задача исследований заключалась в изучении фитотоксичности и аллелопатической активности шламов при различных способах сельскохозяйственного освоения, в определении зависимости заселенности субстрата микрофлорой от видов возделываемых растений, а также в подборе растений для рекультивации шламов. Технической задачей было изучение и применение технологии закрепления пылящих поверхностей на шламохранилищах "Беньковски", "Малко-Тырново" предприятий "Элаците" и "Бургас" фирмы "Полимет".

Были проведены микробиологические и аллелопатические исследования образцов шламов обогатительных фабрик медно- и железорудных производств Болгарии — Беньковского шламохранилища и месторождения Медет. Фитотоксичность шламов определяли методом, разработанным в от-

деле аллелопатии Национального ботанического сада НАН Украины (НБС НАН Украины) [6]. При разработке прямого экспресс-метода определения токсичности любого субстрата или почвы мы исходили прежде всего из аллелопатической активности водорастворимых веществ, поскольку именно они способны перемещаться в условиях ценоза.

Навеску почвы или субстрата увлажняли до 75 %, что соответствует пастообразному состоянию, массу переносили в чашку Петри диаметром 7 см. При встряхивании чашки на поверхности почвы должно образоваться легкое водное зеркало, на субстрате должна проступить влага. Затем на поверхность испытуемого субстрата накладывали фильтр, диаметр которого точно соответствует таковому чашки. На фильтр раскладывали однодневные проростки кресс-салата или другой тест-культуры. Опытные чашки без крышек помещали в кювету, на дно которой для увлажнения наливали немного воды, накрывали стеклом и ставили на 1 сут в термостат с температурой 26 °С. Контрольные семена проращивали на промытом песке или на фильтрах, увлажненных водой. Через сутки измеряли длину корней в опыте и контроле. Токсичность выражали в процентах ингибирования развития проростков тестовых растений под влиянием водорастворимых физиологически активных веществ испытуемых почв или субстратов. Наиболее чувствительными индикаторами неблагоприятных для роста растений условий являются почвенные микроорганизмы. Имеется несколько качественных методов, использующих почвенную биоту как тест на степень токсичности почвы. Модификация этих методов и использование новых микробиологических тестов позволили нам выразить степень токсичности шлама в условных расчетных единицах. Предложенные нами экспресс-методы биотестирования позволяют быстро получить оценку аллелопатической напряженности в почве или любом почвозаменителе, отличаются высокой чувствительностью, нетрудоемки и удобны при массовых анализах.



Численность микроорганизмов определяли общепринятым методом посева почвенной суспензии на плотные питательные среды: микромицеты — на среде Чапека и сусло-агаре, бактерии и актиномицеты — на капустном агаре, споровые микроорганизмы — на среде Мишустина, азотобактер — на среде Эшби. Для определения соотношения основных физиологических групп микроорганизмов в шламах посев их производился на элективные среды: олиготрофные микроорганизмы на голодном агаре и разведенный в 10 раз мясо-пептонный агар (МПА), эвтотрофные на МПА и крахмало-аммиачном агаре (КАА), педотрофные на почвенном агаре (ПА).

Для характеристики количественных соотношений численности микроорганизмов различных эколого-трофических групп определяли коэффициенты минерализации и иммобилизации по Е.Н. Мишустину [8], олиготрофности по Т.В. Аристовской [2], индекс педотрофности по Д.И. Никитину [10]. Подбор растений осуществляли по аллелопатической активности путем выращивания их на образцах шламов в фитотроне в течение 1 мес.

При оценке данных фитотоксичности, аллелопатической активности шламов следует учитывать, что образцы их отбирались после активного опада надземной массы растений и их корней. Это — период активных деструктивных процессов в субстрате, когда в среде могут образовываться высокотоксичные вещества неполного разложения расти-

тельных остатков. В этом смысле фитотоксичность может носить временный характер. Ускорение процессов деструкции будет способствовать нивелированию этого отрицательного явления. Поэтому фитотоксичность следует исследовать в динамике: в процессе онтогенеза возделываемых сельскохозяйственных культур.

Как свидетельствуют полученные данные (табл. 1, 2), фитотоксичность свеженамытого промытого шлама месторождения Медет (фракция гидроциклонирования) можно отнести к низкой или умеренной (водный рН субстрата 6,2—6,4). Согласно этим критериям, субстрат вполне пригоден для сельскохозяйственного освоения. Однако показатели фитотоксичности существенно варьируют при различных способах освоения субстрата и посевах разных растений. Незначительно повышают токсичность шлама овес, ячмень, люпин, сорго. Однако данные наших предыдущих исследований свидетельствуют о том, что токсикоз почвы, вызываемый этими растениями, обладает динамикой. Если люпин использовать на зеленый корм или для запашки, то через 1,5—2 мес данные площади можно использовать под посев озимых. Более стойкий токсикоз почв вызывают плотные посевы овса и ячменя. Однако к весне следующего года, после того как в почве полностью разложится органическое вещество и проявится осеннее и зимнее влагонасыщение, почвы теряют токсичность.

ТАБЛИЦА 1. Влияние корневых выделений высших растений на эколого-трофические группы микроорганизмов и фитотоксичность шламов

Вариант опыта	Олиготрофы, тыс./г		Эвтотрофы, тыс./г		Педотрофы, тыс./г	Фитотоксичность, % ингибирования (биотест — кресс-салат)
	ГА	МПА (1 : 10)	МПА	КАА	ПА	
Неосвоенный свеженамытый шлам	17,9	17,9	21,1	42,2	506,6	29,8
Озимая рожь						
около болота	1,5	445,8	131,0	217,7	148,6	14,0
около леса	544,0	54,0	18,0	229,0	792,0	23,4
в массиве	1,6	1,7	1,3	39,0	46,0	43,5
Тритикале	920,0	88,0	45,0	124,1	102,1	16,6
Ячмень	1,5	103,5	33,1	80,4	87,4	33,1
Люпин	792,4	85,3	24,3	40,6	89,0	38,3
Зеленый массив спонтанной растительности	2,0	1,9	1,4	30,0	103,2	42,5

Примечание: Здесь и в табл. 2—4: ГА — голодный агар; ПА — почвенный агар; МПА — мясо-пептонный агар; КАА — крахмало-аммиачный агар.



Интересно, что на шламах, где еще активно не протекают процессы почвообразования в местах патологии растений (выпревания озимой ржи, мочажины, “выпадов” в посевах), наблюдаются те же закономерности, что и при выращивании озимой ржи на почве. И в почве, и в шламах при данных фитопатологиях, вызванных эдафическими факторами или инвазией патогена, увеличивается фитотоксичность в корнеобитаемой среде растений: на шламах — в пределах 32,5—45,8 % (табл. 2). По всем микробиологическим показателям и данным фитотоксичности, наиболее благоприятен поперечный посев ржи. Как свидетельствуют данные табл. 2, шлам стимулирует рост корней тест-объекта (кресс-салат) на 17 %. Полученные данные по фитотоксичности шлама под покровом озимой пшеницы, возделываемой в разных местах, можно объяснить только после исследования местных условий выращивания. Это, скорее всего, может быть связано со слабым увлажнением шлама и зависеть от вегетативной фазы растения. Известно, что в период активного корневого опада фитотоксичность почвы или субстрата повышается.

Для микробных ценозов неосвоенных свеженамытых шламов характерна олиготрофность, т. е. преобладание микроорганизмов, экологически приспособленных к чрезвычайно низкому содержанию питательных веществ в среде их обитания. После посева растений экологические условия жизнедеятельности микроорганизмов, населяющих шлам и привнесенных в него корневыми выделениями растений, существенно изменились. Увеличилась влагоемкость шлама, уменьшился перегрев верхних его слоев, увеличилось количество корневых выделений и органических веществ, попадающих в субстрат с растительными остатками и корневым опадом. Это способствует биогенности шлама, что и отражают данные численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов в ценозе. В целом нарастает количество педотрофных и эвтрофных микроорганизмов и уменьшается количество олиготрофов (табл. 1, 2).

ТАБЛИЦА 2. Биологическая активность и аллелопатические особенности шламов при биотехнологических способах их освоения

Вариант опыта	Олиготрофы, тыс./г		Педотрофы, тыс./г	Фитотоксичность, % ингибирования (биотест: кресс-салат)
	ГА	МПА	ПА	
Свеженамытый шлам	0,1	3,0	0,8	27,8
Освоение шлама 15 лет	0,3	2,4	1,7	26,9
Озимая рожь				
выпревание	0,1	1,9	0,5	32,5
мочажина	2,8	19,1	11,6	45,8
поперечный посев	0,5	1,4	1,3	2,7
вертикальный посев	0,8	1,8	0,8	23,5
Озимая пшеница	0,8	3,5	15,6	23,0
Сорго	0,8	1,1	1,5	36,4
Овес	1,6	6,0	5,3	46,5
Просо	2,2	6,3	17,0	32,2
Суданка	0,9	0,9	1,4	17,2

При исследовании микробных комплексов в шламе месторождения Медет было установлено, что свеженамытый субстрат (фракция гидроциклонирования) практически стерилен. При освоении шлама путем посева вышеуказанных растений наблюдается нарушение соотношения основных физиологических групп микроорганизмов, которое заключается в формировании “грибного” ценоза. На данных участках освоения после ржи желательнее культивировать бобовую культуру или растения из семейства крестоцветных, которые являются фитосанитарами растительных сообществ и привносят активно метаболизирующую бактериальную микрофлору в среду обитания при использовании их в качестве сидеральных культур. Существенно изменяется мико- и бактериоценоз, в зависимости от технологии возделывания. Например, при поперечном посеве значительно разнообразнее микробоценоз, о чем свидетельствуют и данные численности микроорганизмов, и видовой состав микромицетов. Отмечено уменьшение количества высокотоксичных грибов с усиленным



ТАБЛИЦА 3. Соотношение численности эколого-трофических групп микроорганизмов в шламах при биотехнологических способах их освоения

Вариант опыта	Индекс олиготрофности (ГА/МПА)	Индекс педотрофности (ПА/МПА)	Коэффициент иммобилизации и минерализации (КАА/МПА)
Озимая рожь			
около болота	3,33	0,33	0,48
около леса	10,07	14,66	4,24
в массиве	0,95	0,02	0,02
Тритикале	10,45	1,16	1,40
Ячмень	14,36	0,84	0,77
Люпин	9,28	2,21	0,47
Зеленый массив спонтанной растительности	0,28	0,05	0,01
Неосвоенный свеженамытый шлам	1,00	2,82	2,35

ТАБЛИЦА 4. Соотношение численности эколого-трофических групп микроорганизмов в шламах при биотехнологических способах их освоения

Вариант опыта	Индекс олиготрофности (ГА/МПА)	Индекс педотрофности (ПА/МПА)
Свеженамытый шлам	0,04	0,27
Освоение шлама 15 лет	0,14	0,69
Озимая рожь		
выпревание	0,03	0,26
мочажина	0,14	0,60
поперечный посев	0,37	0,90
вертикальный посев	0,47	0,47
Озимая пшеница	0,23	4,42
Сорго	0,72	1,29
Овес	0,29	0,88
Просо	0,34	2,71
Суданка	0,96	1,46
Гумай (шлам 15 лет)	0,81	4,29

меланиногенезом при поперечном посеве сорго. Микрофлора шлама, где произошло спонтанное заселение субстрата сорными растениями, отличается от таковой при плановом освоении шлама и посеве сельскохозяйственных культур. Так, если в ризосфере ржи при разных технологиях и в образцах из разных мест доминирует гриб *Acremonium strictum*, то в ризосфере сорного растения — гумай (*Gliocladium roseum*).

Следует отметить, что при нормальном развитии всех исследуемых растений, особенно при поперечном посеве, под их покровом формируются микробные комплексы, в которых обильны и разнообразны представители всех физиологических групп микроорганизмов — грибов, спорообразующих бактерий, актиномицетов. Однако все еще полностью отсутствуют агрономически ценные микроорганизмы, в частности азотобактер. Микробоценоз при “выпадении” ржи, ее выпревании, в мочажине меняется кардинально. Из микробоценоза исчезают сапрофиты, в том числе доминант *Alternaria alterata*, и экологическую нишу занимает *Fusarium oxysporum*. В среде Чапека при посеве суспензии шлама на твердые питательные среды отмечается его монокультура. Уменьшается и количество активно метаболизирующих бактерий и их видовой состав.

Следовательно, если при посеве сельскохозяйственных растений на шламах обильны куртины выпадений, то в дальнейшем рекомендован посев растений, регулирующих численность фитотоксичных и фитопатогенных микроорганизмов. В оздоровлении могут помочь посевы крестоцветных культур, выполняющих фитосанитарную роль.

При оценке биогенности шлама как субстрата для выращивания растений отмечена тенденция увеличения этого показателя при длительном освоении шлама. Индексы педотрофности и олиготрофности освоенных шламов были ниже, чем у неосвоенных свеженамытых, а в процессе освоения шламов возрастал коэффициент минерализации и иммобилизации (табл. 3).

Увеличение же коэффициента минерализации указывает на активизацию процессов микробной трансформации органических веществ в шламах (табл. 4).

Анализ группового состава микрофлоры шламов показал, что при его освоении высшими растениями под их покровом формируется активный грибной ценоз. На основании этого проведены исследования по расширению спектра растений, которые могут быть внедрены для освоения шламов: мятлик, райграсс, ковыль, клевер, щавель гибридный, люпин многолетний, донник белый.



Таким образом, проведенные исследования могут быть использованы для подбора растений при создании оптимальных агрофитоценозов, контроле развития почвенно-микробиологических процессов в шлеме с целью регулирования и ускорения образования "первичной" почвы.

1. Атаманюк Ю.А., Головки Э.А. Биотехнологические основы альтернативного земледелия // Вестн. Агр. науки. — 1994. — № 1. — С. 80—84.
2. Аристовская Т.В. Микробиологические процессы почвообразования. — Л.: Наука, 1980. — 187 с.
3. Властианос-Арванитис А., Олескин А. Биополитика. Биосреда. Биосиллабус. — Афины, Греция: Публикация Интернациональной организации, 1993. — 180 с.
4. Головки Э.А. Микроорганизмы в аллелопатии высших растений. — Киев: Наук. думка, 1984. — 199 с.
5. Гродзинский А.М. Аллелопатия растений и почвообразование: Избр. тр. — Киев: Наук. думка, 1991. — 430 с.
6. Гродзинский А.М., Кострома Е.Ю., Шроль Т.С., Хохлова И.Г. Прямые методы биотестирования почвы и метаболитов микроорганизмов // Аллелопатия и продуктивность растений. — Киев: Наук. думка, 1990. — С. 121—124.
7. Матвеев Н.М. Аллелопатия как фактор экологической среды. — Самара: Самар. кн. изд-во, 1994. — 204 с.
8. Мишустин Е.Н. Ассоциация почвенных микроорганизмов. — М.: Наука, 1975. — 107 с.
9. Мороз П.А. Аллелопатия в плодовых садах. — Киев: Наук. думка, 1990. — 208 с.
10. Никитин Д.И. Роль микроорганизмов в образовании и удалении этилена // Роль микроорганизмов в круговороте газов в природе. — М.: Наука, 1979. — С. 241—254.
11. Рошина В.Д., Рошина В.В. Выделительная функция высших растений. — М.: Наука, 1989. — 214 с.

12. Телитченко М.М., Остроумов С.А. Введение в проблемы биохимической экологии. — М.: Наука, 1990. — 228 с.
13. Willis R.J. Terminology and trends in allelopathy // Allelopathy J. — 1994. — 1, N 1. — P. 6—27.

Поступила 18.02.2001

ЕКОЛОГО-АЛЛЕЛОПАТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛАМІВ МІДНОРУДНИХ ВИРОБНИЦТВ БОЛГАРІЇ

Е.А. Головки, Т.С. Шроль, Н.Е. Елланська, І.Г. Хохлова
 Національний ботанічний сад
 ім. М.М. Гришка НАН України, Україна, Київ

Алелопатичні і мікробіологічні дослідження біологічної рекультивації шламів міднорудних виробництв довели, що під впливом вирощування сільськогосподарських культур відбувається колонізація субстратів агрономічно важливими групами мікроорганізмів. При цьому спостерігаються активне первинне ґрунтоутворення та зниження фітотоксичності субстратів.

ECO-ALLELOPATHIC INVESTIGATIONS OF SLAMES OF THE COPPER ORE ENTERPRISES OF BULGARIA

E.A. Golovko, T.S. Shrol, N.E. Ellanska, I.G. Khokhlova
 M.M. Gryshko National Botanical Gardens, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine, Kyiv

Allelopathical and microbiological investigations of biological recultivation of slames of the copper ore productions have proved that the growing of agricultural plants cause colonization of substrates by agronomically important groups of microorganisms. Active primary soil-formation and decrease of phytotoxicity of substrates are observed under these conditions.