

Оценка фитотоксичности техногенных отходов

С.А. Шавнин, д.б.н., профессор, Ботанический сад УрО РАН; Н.В. Марина, к.х.н., Д.Ю. Голиков, к.с.-х.н., Уральский ГЛТУ

Отходы добычи руд оказывают негативное влияние на атмосферу, гидросферу и почвенный покров окружающей среды, а через них — на состояние растительных и животных организмов. Миграция химических элементов, содержащихся в складированных отходах, происходит в результате физико-химических процессов под воздействием климатических и погодных факторов, при этом загрязнения могут распространяться с инфильтрацией атмосферных осадков через тело отвала в почву примыкающих участков. Отдельные компоненты в водной среде взаимодействуют между собой и с кислородом воздуха, образуя новые соединения. Это может приводить к изменению дисперсности и агрегатного состояния вымываемых поллютантов. При оценке экотоксикологических эффектов необходимо принимать во внимание также синергическое и антагонистическое взаимодействие токсических соединений. Изучать комплексное воздействие техногенных отходов и определять их фитотоксичность наиболее эффективно с помощью биологических методов анализа, которые позволяют помимо общего неспецифического влияния на биотест выделить некоторые специфические реакции на отдельные химические вещества или группы веществ [1]. В связи с этим **целью** исследований являлось определение потенциальной фитотоксичности вскрышных пород на примере отвала Серовского никелевого рудника.

Материалы и методы исследований. Отвал Серовского никелевого рудника площадью 55,9 га введён в эксплуатацию в 1983 г. Условия размещения отходов — навалом. Система защиты окружающей среды — нагорные канавы для отвода ливневых вод. Отвал расположен в 1,3 км к северу от д. Новая Еловка.

Оценку фитотоксичности вскрышных пород отвала проводили на образцах, отобранных в северо-западной его части (участок 1). Для сравнения были отобраны образцы почвы на удалении 2 км от границы отвала (участок 2). Кроме того, с целью изучения относительной фитотоксичности подстилающих горных пород на этом же участке был заложен почвенный разрез. Образцы отбирали из следующих горизонтов: A_1 — гумусовый горизонт; A_2 — элювиальный горизонт; В — иллювиальный горизонт; ВС — переходный к материнской породе. Почва принадлежит к подзолистому типу, глубина разреза около 1,5 м. При отборе образцов использовали метод средней пробы.

Изучение градиента загрязнения снежного покрова на территории, прилегающей с северо-восточной стороны к отвалу, проводили на трансекте, состоящей из восьми точек. Первая точка трансекты располагалась непосредственно на краю отвала. Расстояние между крайними точками трансекты составляло примерно 150 м; между соседними — около 25 м. Кроме того, образцы снега были отобраны ещё в трёх точках: № 9 — в северо-западной части дренажного рва, окаймляющего карьер рудника, № 10 — в северной части, № 11 — на границе между лесным массивом и сенокосом, примыкающим к деревне Новая Еловка. Выбор точки № 11 был обусловлен необходимостью оценки возможности переноса загрязняющих веществ позёмкой, т.к. на границе леса и сенокоса визуально наблюдался снежный нанос.

Определение степени токсичности образцов почвогрунтов и талой воды проводили по усовершенствованной авторами методике биотестирования поверхностных и сточных вод [2], представляющей собой исследование реакции тест-объекта на действие загрязняющих веществ и позволяющей получить интегральную оценку степени их фитотоксичности. В качестве тест-объекта использовали суспензию одноклеточной зелёной водоросли хлореллы, а в качестве показателя токсичности — гибель клеток, агрегацию клеток или изменение суточного прироста численности клеток при культивировании хлореллы в водных экстрактах из тестируемой пробы [3].

Водные почвенные вытяжки, с целью ускорения диффузии водорастворимых веществ из фракционированного почвогрунта (размеры частиц до 1 мм), готовили нагреванием суспензий, полученных при разных весовых соотношениях почва : вода при температуре 90°C в течение 2 часов и последующей фильтрацией. Данные условия обработки образца позволяют в короткий срок наиболее полно извлечь соединения, действующие на тест-объект. В качестве контрольной пробы использовали дистиллированную воду. Во флаконы фитотестера вносили по 6 мл почвенных экстрактов и добавляли по 1 мл суспензии водоросли с оптической плотностью 0,07–0,10. Определение вели в трёх биологических повторностях. Биотестирование проводили на «Фитотестере-03» (производство КрасГУ) в течение 24 час. при температуре 34–36°C, интенсивности света — 80 Вт/м² и скорости вращения кассеты с реакторами 30 об/мин.

Для случаев, когда критерием токсичности пробы почвы является гибель клеток тест-объекта или их агрегация, разработана особая градация степени токсичности почв, приведённая в табли-

це 1. При этом, если агрегация или гибель клеток не наблюдается ни при одном соотношении почва : вода, то проба считается нетоксичной (степень токсичности – 0).

Предполагаемый механизм агрегации заключается в следующем. В результате увеличения скорости роста клеток (под влиянием стимулирующих веществ) и/или нарушения синтеза её компонентов после определённого количества делений может происходить нарушение процесса образования клеточной стенки у автоспор хлореллы. В условиях дефицита метаболитов, вызванного действием экотоксикантов, и в присутствии в среде веществ (преимущественно органических), стимулирующих рост хлореллы, материнская клетка не успевает обеспечить формирование полноценных оболочек автоспор. В результате этого трёхслойные диски на наружной стороне плазмалеммы смыкаются не полностью и в водной среде происходит агрегация (слипание) автоспор, обусловленная, по-видимому, изменением поверхностных свойств клеток [4, 5]. Следует отметить, что данное явление не наблюдается при культивировании водоросли в стандартной среде независимо от оптической плотности суспензии.

В присутствии некоторых соединений может наблюдаться стимуляция или угнетение жизнедеятельности водорослей без явления агрегации. В этом случае в качестве показателя токсичности используется степень изменения суточного прироста численности клеток. Прирост культуры определяли по разности оптической плотности суспензии водоросли в начале и конце культивирования. Критерием токсичности пробы является снижение средней величины оптической плотности по сравнению с контрольным вариантом на 20% и более в случае подавления роста тест-культуры или её повышения на 30% и более – при стимуляции ростовых процессов [2].

Результаты и обсуждение. Результаты исследований, приведённые в таблице 2, показали, что грунт вскрышных пород (участок 1) оценивается как гипертоксичный. Гипертоксический эффект его водных вытяжек выражается в полной гибели клеток водоросли при разбавлениях 1:10 и более. Водные вытяжки почвы горизонта А₁ (участок 2) оказывают стимулирующее действие на рост водоросли даже при соотношении почва : вода, равном 1:10 (коэффициент токсичности – 0,550). В меньшей мере выраженный стимулирующий эффект отмечается для почв горизонтов А₂, В, и ВС. Следует отметить, что при биотестировании незагрязнённых почв с использованием хлореллы наблюдается стимуляция ростовых процессов, которая, по-видимому, определяется наличием в почве органических веществ и элементов минерального питания, переходящих в водную фазу.

Известно, что при наличии в среде доступного органического субстрата хлорелла способна переключать тип метаболизма с автотрофного на гетеротрофный [6]. Вероятно, высокий уровень стимулирующего воздействия водных вытяжек почвы с участка 2 не связан с загрязнением среды, как при биотестировании сточных вод [2], а объясняется действием водорастворимых органических веществ гумусового горизонта. Увеличение их содержания в водных почвенных экстрактах приводит к стимуляции ростовых процессов хлореллы, что свидетельствует скорее о плодородии почвы, чем о её фитотоксичности.

Влияние вскрышных пород на прилегающую к отвалу территорию изучали по накоплению поллютантов в снежном покрове и оценивали по воздействию талой воды на параметры роста хлореллы. Результаты исследований показали, что образцы снега непосредственно с отвала слаботоксичны, а с удалением от него (до 150 м) – нетоксичны. Данный факт свидетельствует о незначительном влиянии отвала на загрязнение местности в зимний период.

1. Градация степени токсичности почв

Соотношение почва : вода, при котором проявляется агрегация или гибель клеток	Токсичность почвы	Степень токсичности почвы
1:2	слаботоксичная	1
1:4	среднетоксичная	2
1:6	токсичная	3
1:8	сильнотоксичная	4
1:10	гипертоксичная	5

2. Токсичность образцов (оценка по суточному приросту клеток хлореллы)

Участок	Соотношение почва : вода	Коэффициент токсичности
Участок 1	1:10	гибель клеток водоросли
	1:8	
	1:6	
	1:4	
	1:2	
Участок 2 горизонт А ₁	1:10	-0,550±0,010
	1:8	-0,730±0,023
	1:6	-0,921±0,010
	1:4	-1,213±0,022
	1:2	-1,427±0,010
горизонт А ₂	1:6	-0,102±0,011
	1:4	-0,238±0,011
	1:2	-0,307±0,012
горизонт В	1:6	0,074±0,010
	1:4	0,061±0,028
	1:2	-0,407±0,021
горизонт ВС	1:6	0,102±0,016
	1:4	-0,385±0,010
	1:2	-0,308±0,039

Выводы. Разработана методика определения фитотоксичности почв по агрегации клеток тест-объекта микроводоросли *Chlorella* и/или суточному приросту их численности. Эффект стимуляции ростовых процессов хлореллы может быть использован при разработке методики определения плодородия почв.

Выявлено, что грунт изученных вскрышных пород оказывает сильное угнетающее действие на тест-объект и потенциально может оказывать отрицательный эффект на высшие растения. Это необходимо учитывать при подборе видов для проведения биологической рекультивации отвала, например путём предварительной оценки их чувствительности к токсическому воздействию конкретных вскрышных пород.

Отсутствие фитотоксического эффекта за пределами отвала указывает на локальный характер влияния вскрышных пород. Окончатель-

ная оценка фитотоксичности всей поверхности отвала и прилегающего к нему участка может быть сделана при детальном экологическом зонировании территории объекта.

Литература

1. Никаноров А.М., Хоружая Т.А., Бражникова Л.В. и др. Мониторинг качества вод: оценка токсичности. СПб: Гидрометеоздат, 2000. 159 с.
2. Григорьев Ю.С. Методика определения токсичности проб поверхностных пресных, грунтовых, питьевых, сточных вод, водных вытяжек из почвы, осадков сточных вод и отходов по изменению оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris Beijer*). М.: МПР России, 2004. 25 с.
3. Козицкая Ю.Н., Шавнин С.А., Юсупов И.А. и др. Влияние противогололёдных материалов и проблема фитотоксичности почвогрунтов придорожных территорий в городах ХМАО-Югры // Проблемы региональной экологии. 2006. № 3. С. 11–16.
4. Рейви П., Эверт Р., Айкхорн С. Современная ботаника. В 2-х т. Т. 1. М.: Мир, 1990. 348 с.
5. Комарницкий Н.А., Кудряшов Л.В., Уранов А.А. Ботаника (систематика растений). М.: Просвещение, 1975. 608 с.
6. Huang S.W., Liao V. C., Chen H.C. et al. Growth and ultrastructure of *Chlorella pyrenoidosa* / Chin. Soc. Microbiol. 1989. P. 18–19.