

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ, МЕЛИОРАНТОВ И РАСТЕНИЙ НА ДЕГРАДАЦИЮ ТРИДЕКАНА В ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОЧВЕ

При исследовании влияния цеолитсодержащей породы (ЦСП) и азотного удобрения (N) на фитотоксичность выщелоченного чернозема, загрязненного н-тридеканом (ТД), выявлена эффективность использования N. При внесении N и ЦСП биологическая активность загрязненной почвы достоверно возросла, причем в случае N также значительно снизилось содержание ТД. По результатам сделан вывод об основном вкладе микробной деструкции в биодеградацию ТД.

ВВЕДЕНИЕ

Углеводороды (УВ) – одни из приоритетных загрязнителей окружающей среды. В почву они поступают в результате аварий и утечек на предприятиях химической и нефтехимической промышленности, как продукты и отходы деятельности нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий, а также из атмосферы – при сжигании нефтепродуктов. УВ нарушают водно-воздушный режим и структуру почвы, взаимосвязи почва – растение – вода, функционирование почвенных микробных сообществ и снижают почвенное плодородие [1-3]. При биологической рекультивации загрязненных почв необходимо создание оптимальных условий для развития естественно-углеводородоокисляющего микробсообщества с помощью внесения органического или полного минерального удобрения (с преобладанием азота) – для оптимизации пищевого режима и химических мелиорантов – для улучшения водно-физических свойств почвы [2, 4, 5]. Так, природные цеолиты улучшают агрофизические и агрохимические свойства почв, нейтрализуют избыточную кислотность, повышают катионообменную емкость [6, 7].

Проводятся также исследования по использованию растений для рекультивации (фиторемедиации) почв, загрязненных УВ. Различная реакция растений на УВ зависит от их биоморфы и систематической принадлежности [8]; наиболее перспективными для фиторемедиации считают злаки и бобовые [9]. В ряде работ рассматриваются растительно-микробные взаимодействия как основа фиторемедиации [9, 10]. Показателем эффективного сочетания микробной деструкции с

фиторемедиацией является снижение фитотоксичности загрязненной почвы.

Целью данной работы было исследование процесса деградации н-тридекана в почве как результат деятельности растительно-микробного сообщества, а также влияния внесенных в почву азота и цеолитсодержащей породы на ее фитотоксичность, оцениваемую по состоянию индикаторных растений и общей биологической активности почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в вегетационном опыте с искусственно загрязненным выщелоченным черноземом (ВЧ), характерным для нефтедобывающих районов республики Татарстан. В почву вносили алифатический УВ – н-тридекан (ТД), 1% на абсолютно сухую почву. В вариант с азотом (N) вносили аммиачную селитру, 0,3 г д.в. на 1 кг почвы, цеолитсодержащую породу (ЦСП, Татарско-Шатрашанского месторождения, состав: гейландит-клиноптилолит 12%; опал-кристаллит 26%, смектит 20%, кварц 18%; кальцит 18%, полевошпат 2%) вносили из расчета 25% от веса почвы. Через 14 дней инкубации проводили посев семян растений. Растения (кукуруза, *Zea mays L.*, сорт Катерина, и овес, *Avena sativa L.*, сорт Лос-3) выращивали в течение 34 дней в вегетационных сосудах (по 1,3 кг почвы), в каждом сосуде – по 6 растений кукурузы и 20 растений овса. Эти сельскохозяйственные культуры рекомендуют как индикаторные растения для оценки фитотоксичности УВ-загрязненных почв [8]. Т. о. схема опыта включала: 1. Почва без растений (контроль); N; ЦСП; ТД; ТД+N; ТД+ЦСП. 2. Те же варианты + куку-

руза. 3. Те же варианты + овес. *Определяли* энергию прорастания и всхожесть семян (на 3-й и 7-й день соответственно) и в конце опыта – высоту растений, надземную и корневую биомассу. *Содержание n-тридекана* в экстрактах почвы (CCl_4) определяли на газожидкостном хроматографе «Кристаллюкс-4000» с капиллярной колонкой и пламенно-ионизационным детектором. *Общую биологическую активность почвы* определяли по интенсивности выделения CO_2 почвой, не обогащенной (V_{basal}) и обогащенной глюкозой (V_{sir}), на хроматографе «Chrom-5» с насыпной колонкой и катарометром. Для оценки интенсивности микробной деградационной поллютанта и устойчивости микробного сообщества рассчитывали показатели

$$\frac{V_{basal} (V_{basal\ обработ.} / V_{basal\ контр.})}{V_{sir} (V_{sir\ обработ.} / V_{sir\ контр.})} * 100\%$$

и $Q_R (V_{basal} / V_{sir})$. [11]

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы STATISTICA 6.0, Microsoft Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Под фитотоксичностью УВ понимают их способность подавлять *рост и развитие* растений. На фоне ТД, особенно в варианте с внесением ЦСП, растения развивались медленнее, приобрели интенсивный желтый оттенок, кончики листьев подсохли, появились фиолетово-розовые полосы (особенно у кукурузы), что свидетельствовало об изменении пигментного состава листьев. Известно, что нефтяные УВ вызывают снижение содержания общего хлорофилла и хлорофилла *a* и усиление синтеза антоциана [12].

В таблице 1 приведены данные по *всхожести* семян кукурузы и овса, *энергии и скорости их прорастания*. Всходы появились на третий день – как в контроле, так и в вариантах с ТД и ТД+N. Энергия прорастания на фоне ТД и ТД+N у овса снижалась в среднем на 45%, а у кукурузы не отличалась от контрольного варианта (100%). В варианте с ТД+ЦСП появление всходов обеих культур задерживалось и энергия прорастания была низкой, особенно у овса (20% от контроля). Однако на 7-й день всхожесть семян

кукурузы и овса составляла 90-100% от контроля во всех вариантах опыта.

Высота растений на фоне ТД существенно снижалась: у кукурузы и овса – на 42 и 37% соответственно. В варианте ТД+ЦСП депрессия высоты обеих культур составляла около 40% от контроля, а в варианте ТД+N была достоверно меньше: у овса 30, а у кукурузы только 11%.

В опыте оценивали также изменение *биомассы* растений, *корневой и надземной*. Внесение в почву азота и цеолита улучшало рост корней по сравнению с контролем: у кукурузы в среднем в 1,9 раза, у овса в 1,3 раза. Однако на фоне ТД сухая масса корней снижалась во всех вариантах, причем у овса больше, чем у кукурузы. Наибольшее угнетение корневой системы у обеих культур наблюдали в варианте ТД+ЦСП (на 83 и 50% соответственно). При внесении в незагрязненную почву добавок, особенно азота, надземная биомасса также увеличилась: у кукурузы в 1,7 раза, у овса в 1,4 раза к контролю. Как и у корней, на фоне ТД и ТД+ЦСП депрессия надземной массы у кукурузы и овса составляла в среднем 69% относительно контроля, а в варианте ТД+N у кукурузы – 46%, а у овса 29%. Таким образом, при загрязнении у овса сильнее повреждались корни, а у кукурузы надземные органы. На фоне ТД внесение азота в почву было более эффективным, чем цеолита, – как для роста корней, так и надземной части растений.

Стимуляцию роста растений под действием добавок ряд авторов связывает с изменением биологической активности почвы [9, 10]. В нашем опыте *общая биологическая активность ВЧ* достоверно изменялась как в вариантах без растений, так и под растениями, таблица 2. Скорость *базального дыхания* является одной из важнейших биологических характеристик почвы. Она отражает количество доступного углерода для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов и является мерой скорости его вовлечения в биохимические циклы [11, 13]. Наблюдавшиеся значения показателя V_{bass} больше 1 свидетельствуют о том, что при внесении в почву ТД скорость базального дыхания увеличивалась в вариантах с рас-

Таблица 1. Влияние загрязнения выщелоченного чернозема н-тридеканом (1%) и внесения аммиачной селитры и цеолитсодержащей породы на всхожесть семян, высоту и сухую массу растений.

Культура	Вариант опыта	Всхожесть, %		Высота растений, см		Масса растений, г/сосуд			
		Контроль	Тридекан	Контроль	Тридекан	Надземная		Корни	
						Контроль	Тридекан	Контроль	Тридекан
Кукуруза	Без добавок	100,0 ± 0,0	100 ± 0,0	38 ± 6	22 ± 4	3,5 ± 0,7	1,2 ± 0,3	2,0 ± 0,3	1,9 ± 0,4
	N	100,0 ± 0,0	100 ± 0,0	47 ± 4	41 ± 5	6,16 ± 1,2	3,3 ± 0,7	3,0 ± 0,8	2,8 ± 0,6
	ЦСП	100,0 ± 0,0	100 ± 0,0	39 ± 3	22 ± 3	3,8 ± 0,2	1,2 ± 0,2	3,9 ± 1,3	1,8 ± 0,2
Овес	Без добавок	85,2 ± 0,2	75,3 ± 0,2	24 ± 3	15 ± 2	3,8 ± 0,2	1,2 ± 0,1	4,5 ± 1,1	1,1 ± 0,2
	N	80,1 ± 0,2	90,2 ± 0,1	36 ± 4	25 ± 2	5,2 ± 0,1	3,6 ± 0,4	5,6 ± 0,6	1,9 ± 0,2
	ЦСП	90,1 ± 0,1	85,1 ± 0,1	27 ± 7	16 ± 3	5,0 ± 0,3	1,5 ± 0,2	6,1 ± 1,4	1,0 ± 0,2

Таблица 2. Влияние внесения аммиачной селитры и цеолитсодержащей породы в почву, загрязненную н-тридеканом (1%) на показатели общей биологической активности выщелоченного чернозема и остаточное содержание н-тридекана в почве через 34 дня после загрязнения.

Культура	Вариант опыта	Концентрация ТД, % от массы сухой почвы	$V_{\text{басс}}$	V_{SIR} , %
Контроль (почва без растений)	Без добавок	0,8	0,9	73
	ЦСП	0,5	1,5	79
	N	0,2	2,15	140
Кукуруза	Без добавок	-	1,9	78
	ЦСП	0,5	0,91	66
	N	0,3	1,87	80
Овес	Без добавок	0,8	1,2	77
	ЦСП	0,7	0,80	61
	N	0,3	1,4	92

тениями с добавлением азота или без него. Однако в вариантах с ЦСП этот показатель был меньше 1 как для кукурузы, так и для овса. В вариантах без растений $V_{\text{басс}}$ возрос при добавлении ЦСП и N относительно варианта без добавок – в 1,7 и 2,4 раза соответственно.

Скорость субстрат-индуцированного дыхания отражает потенциальную активность почвенного микробоценоза; на фоне ТД V_{SIR} в среднем составляла 76% от вариантов без загрязнения. Показатель V_{SIR} имел наибольшие значения в вариантах с добавлением азота, особенно без растений. Вероятно, это являлось следствием конкуренции растений и почвенных микроорганизмов за доступный азот [14]. В варианте ТД+ЦСП показатель V_{SIR} был наиболее низким.

Значения коэффициента микробного дыхания (отношение скоростей базального и субстрат-индуцированного дыхания) загрязненного ВЧ во всех вариантах в среднем составляли 0,23-0,40, а в незагрязненной почве – 0,16-0,30. Такая незначительная разница указывает на то, что через месяц после внесения ТД нарушенность почвенного микробоценоза была относительно слабой.

Анализ содержания остаточного УВ показал, что через месяц после загрязнения его концентрация в почве без внесенных добавок снизилась на 20% – как в варианте без растений, так и под растениями (овес), таблица 2. Напротив, ЦСП и N существенно ускорили процесс биодegradации ТД – на 40 и 75% соответственно.

Таким образом, внесение в почву цеолитсодержащей породы (содержащей, наряду с цеолитами, глинистые минералы) и азотного удобрения вызвало усиление процесса биологической деградации УВ-загрязнителя – н-тридекана и достоверное снижение фитотоксичности почвы. Особенно значимый положительный эффект оказало дополнительное внесение азота. Вероятно, прежде всего это связано с известным фактом влияния азота на улучшение питательного режима почвы, что положительно сказывается на жизнедеятельности аборигенных УВ-окисляющих микроорганизмов и росте растений [2, 5, 8]. Внесение цеолита в концентрации 25% усилило процесс деградации ТД почвенными микроорганизмами, вероятно, за счет изменения водно-воздушного режима почвы. Учитывая, однако, что в вариантах с растениями при

внесении ЦСП в загрязненную почву активность микроорганизмов снижалась, а состояние растений несколько ухудшалось, можно рекомендовать такие высокие дозы цеолита для «первичной» очистки УВ-загрязненных почв. Ее обычно проводят на первом этапе ремедиации с целью снижения первоначально высокой концентрации УВ, а далее высаживают растения для доведения почвы до экологически «чистого» состояния.

ВЫВОДЫ

1. Фитотоксичность выщелоченного чернозема, загрязненного н-тридеканом (1%), проявляется в снижении энергии прорастания, высоты и массы растений кукурузы и овса. Внесение азотного удобрения су-

щественно снижает, а цеолитсодержащей породы – практически не снижает фитотоксичность почвы.

2. Через месяц после внесения н-тридекана в почву его содержание снижается во всех вариантах опыта – как без растений, так и под растениями, особенно в вариантах с внесением ЦСП и еще более – азота.

3. Показатели общей биологической активности выщелоченного чернозема указывают на то, что интенсивность процесса биодegradации н-тридекана в почве без растений возрастает при внесении ЦСП, и особенно – азота. В вариантах с растениями эти эффекты выражены меньше.

4. Микробная деструкция вносит основной вклад в биодegradацию ТД.

Список использованной литературы:

1. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов / Н.П. Солнцева. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
2. Гилязов М.Ю. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан/ М.Ю. Гилязов, И.А. Гайсин. – Казань: Фен, 2003. – 228 с.
3. Dorn P.V. Temporal ecological assessments of oil contaminated soil before and after bioremediation/ P.V. Dorn, J.P.Salanitro/ *Chemosphere*. – 2000. V.40. – P. 419-426.
4. Salanitro J.P. Bioremediation of PHCs in soil/ J.P.Salanitro// *Advances in agronomy*. – 2001. V.72. – P. 53-105.
5. Демидиенко А.Я. Изучение питательного режима почв, загрязненных нефтью/ А.Я. Демидиенко, В.М. Демурджан, Л.Д. Шеянова// *Агрохимия*. – №9, 1983. – С. 100-103.
6. Природные цеолиты. М.: Химия, 1985. – 223 с.
7. Якимов А.В. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение/ А.В. Якимов. – Казань.: Изд-во Фен, 2001. – 176 с.
8. Киреева Н.А. Фитотоксичность антропогенно-загрязненных почв/ Н.А. Киреева, Г.Г. Кузьяметов, А.М. Мифтахова, В.В. Водопянов.– Уфа: Гилем, 2003.– 266 с.
9. Susarla S. Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination/ S. Susarla, V.F. Medina, S.C. McCutcheon// *Ecological Engineering*. – 2002. – Т.18. – P. 647-658.
10. Кураков А.В. Микробная колонизация поверхности корней на ранних стадиях развития растений/ А.В. Кураков, Н.В. Костина// *Микробиология*. – 1997. – Т.66. – №3. – С. 394-401.
11. Благодатская Е.В. Оценка устойчивости микробных сообществ в процессе разложения поллютантов в почве/ Е.В. Благодатская, Н.Д. Ананьева// *Почвоведение*. – 1996. – №11. – С. 1341-1346.
12. Чупахина Г.Н. Адаптация растений к нефтяному стрессу/ Г.Н. Чупахина, П.В. Масленников// *Экология*. – 2004.– №5. – С.330-335.
13. Insam H. Developments in soil microbiology since the mid 1960s/ H. Insam // *Geoderma*. – 2001. V.100. – P.389-402.
14. Dakora F. D. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments/ F.D. Dakora, D.A. Phillips/ *Plant and Soil*. – 2002. – Т.245. – P. 35-47.