

Реакция растений на отходы бурения нефтегазового комплекса в зоне Средней тайги Приобья

Р. Ю. ШАГУТ, Л. А. ИГНАТЬЕВ*

Югорский государственный университет,
Институт природопользования
628012, Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
630099, Новосибирск, ул. Советская, 18
E-mail: ignatev37@ngs.ru

АННОТАЦИЯ

Получены данные об изменении состояния растений под влиянием отходов бурения (ОБ) нефтегазовых скважин и о переносе токсических элементов из субстрата (почвы) в вегетативные органы. Выявлена стимуляция роста и продуктивности растений при концентрации ОБ в олиготрофных субстратах до 20 % без транслокации их отдельных элементов в вегетативные органы.

Ключевые слова: отходы бурения, реакция растений, продукционный процесс.

Отходы бурения нефтегазового комплекса Западной Сибири при амбарной технологии бурения нефтегазовых скважин сосредотачиваются в специально оборудованных на кустовых площадках емкостях (шламовых амбарах), а в водоохранной зоне в процессе безамбарного бурения чаще складываются на полигонах, где подвергаются комплексу приемов детоксикации, что связано с очень большими транспортными и материально-энергетическими затратами.

В результате амбарной технологии бурения скважин на протяжении многих лет нефтедобычи скопился большой объем отходов из-за отсутствия эффективных способов их утилизации. Современный регламент рекультивации шламовых амбаров состоит в засыпке их содержимого любым грунтом с последующей планировкой (технический этап) и культивированием территории различными

видами растений (биологический этап) [1, 2]. По своей сути эта технология также весьма трудоемка, но, главное, она не решает задач действительного восстановления промышленно нарушенных природных экосистем, поскольку это лишь длительное захоронение возможных токсических компонентов, не гарантирующее отсутствия их миграции на близко расположенную территорию, в том числе и в водную систему.

В практике известны и другие технологии рекультивации шламовых амбаров [3], в основном направленные на совершенствование технического этапа. Из способов биологической направленности, как менее затратных и высокопроизводительных, наибольший интерес представляет лесная рекультивация [4].

Содержимое шламовых амбаров, особенно многолетней давности, представляет двухфазную среду из донных минерально-органических отложений и водной фазы, на поверхности которой часто образуется пленка

нефтяных углеводородов (УВ) высокомолекулярных фракций. Лесная рекультивация предусматривает откачку водной фазы и частичную засыпку амбаров как условия для выращивания древесных культур и аборигенных видов травянистых растений с целью постепенной нейтрализации возможной токсичности их компонентов.

Однако ее результативность и приемлемость с точки зрения требований экологической безопасности в соответствии с нормативными документами обуславливаются разнообразием технологического и геохимического состояния компонентов шламовых амбаров, степенью их токсичности. Именно оценка реакции растений на различную степень неблагоприятного воздействия отходов бурения в зависимости от их концентрации и класса токсичности при любой технологии бурения нефтегазовых скважин стала предметом настоящего исследования.

ОБЪЕКТЫ, ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследовали древесные (кедр сибирский, сосна обыкновенная, ива, береза) и травянистые (картофель, клевер красный) растения. Определяли реакцию этих видов на различные концентрации донных отложений (собственно отходов бурения) и водной фазы шламовых амбаров. Древесные растения выращивали за пределами кустовой площадки № 596 Мамонтовского месторождения нефти ОАО «РН-Юганскнефтегаз» в изолированных по горизонтали лизиметрах размером $1 \text{ м}^2 \times 0,4 \text{ м}$ по высоте с искусственным субстратом (50 % почва горизонта «В» + 50 % объема – верховой торф) в 4-кратной повторности. В этот субстрат вносили отходы (15 и 30 % объема) из рядом расположенного шламового амбара 27-летней давности, что обусловлено необходимостью рекультивации многочисленных амбаров именно многолетней (25–30 лет) давности. Содержание этого опыта сохранено при постановке вегетационного опыта в полиэтиленовых сосудах емкостью 3 л с культурой клевера красного, но при концентрациях отходов 10, 20 и 30 % и также в 4-кратной повторности.

Параллельно опыту с древесными породами в 2008 г. проводилась посадка картофеля с целью оценки транспорта возможных токсических элементов в клубни этой культуры. С этой целью в этом же году проведена посадка картофеля в полевом мелкоделяночном ($1,5 \times 2,0 \text{ м}$) опыте по схеме: 1. Контроль; 2, 3 и 4 – опытные варианты с содержанием в почве на глубине 0–20 см соответственно 1, 2 и 4 % в объемных единицах нефти «тяжелых» фракций с поверхности водной фазы этого амбара (596). Эти опыты с картофелем носили рекогносцировочный характер, поскольку закладывались в однократной повторности.

Полевые мелкоделяночные опыты с целью оценки влияния отходов бурения на состояние растений картофеля закладывали в границах кустовой площадки № 80 Приобского месторождения нефти ООО «Газпромнефть-Хантос». Эти опыты проводили в 3-кратной повторности, размер элементарной делянки $1,5 \times 2,0 \text{ м}$. Все полевые опыты закладывали на повышенных элементах рельефа дерново-подзолистой почвы легкого гранулометрического состава.

В результате предварительной оценки технологического и геохимического состояния шламовых амбаров многолетнего происхождения, расположенных на территории Мамонтовского месторождения нефти, установлено, что из общего их числа 20 % относились к III, 50 % – к IV и 30 % – к V классу токсической опасности. В опытах использовались отходы из амбаров IV класса опасности.

Критерием влияния отходов бурения на состояние растений служили показатели приживаемости и устойчивости растений, темпы их роста, синтез биомассы и конечная продуктивность растений. Достоверность различий между данными различных вариантов оценивалась по величине наименьшей существенной разницы показателей [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В опыте с древесными породами осенью 2006 г. проведена посадка 3-летних сеянцев кедра, 4–5-летних лесных культур сосны и

Т а б л и ц а 1

Прирост одногодичных побегов древесных пород в зависимости от концентрации в субстрате отходов бурения, опыт 2006 г. (наблюдения в 2008 г.)

Культура	Вариант, % отходов в субстрате	Средняя длина побегов	
		см	% к контролю
Сосна	Контроль	7,3	100
	15	6,7	91,8
	30	6,6	90,4
Кедр	Контроль	3,8	100
	15	3,6	94,8
	30	4,1	107,9
Ива	Контроль	23,8	100
	15	21,7	91,2
	30	22,7	95,4
Береза	Контроль	21,1	100
	15	18,7*	88,6
	30	18,9*	89,6

П р и м е ч а н и е.* Здесь и далее существенные различия показателей на уровне 0,05 % значимости.

березы с открытой корневой системой и черенков ивы. В 2007 г. проведен учет приживаемости саженцев. Различия по этому показателю между контрольным (без внесения отходов) и опытными вариантами отсутствовали. В 2008 г. проводили определение уже прироста верхушечных хвойных и суммы прироста однолетних побегов лиственных пород. Достоверное снижение прироста побегов (табл. 1) имело место только в культуре с березой как при 15, так и при 30 %-м содержании отходов бурения в субстрате. Однако в 2009 г. наблюдали снижение прирос-

та побегов и выпад саженцев у хвойных пород, но только в варианте с содержанием 30 % отходов.

Для оценки влияния на растения отходов бурения в 2009 г. заложен вегетационный опыт с культурой красного клевера. Его постановка мотивирована некоторыми представлениями о более высокой токсичности водной фазы амбаров по сравнению с донными отложениями. У растений этой культуры наблюдалась тенденция снижения синтеза надземной биомассы при содержании в субстрате 30 % отходов как донных отложений, так и

Т а б л и ц а 2

Сухая биомасса растений клевера красного на торфопесчаном субстрате с различным содержанием водной фазы и донных отложений шламового амбара, вегетационный опыт

Компоненты шламового амбара	Вариант, % отходов в субстрате	Сухая биомасса	
		г	% к контролю
Водная фаза	0	11	100
	10	14*	127
	20	12*	112
	30	10	91
Донные отложения	0	70	100
	10	77	110
	20	49*	70
	30	69	91

Продуктивность картофеля на супесчаном субстрате с различным содержанием отходов бурения, полевые опыты 2009 и 2010 гг.

Год	Вариант, % отходов	Общая биомасса на 1 куст, г	Масса клубней	
			на 1 куст, г	% к контролю
2009	0	–	148	100
	10	–	177	120
	20	–	185	125
	30	–	226	153
2010	0	681	317	100
	10	868	485	145
	20	1221	656	202
	30	800	435	151

водной фазы (табл. 2). При этом отмечен факт более низкой продуктивности клевера при концентрации 20 % донных отложений по сравнению с их концентрацией 30 %, что идентично осциллирующей реакции растений на возрастающие дозы повышенных температур в ранее проведенных исследованиях [6].

Полевые опыты по оценке влияния отходов бурения на растения картофеля проводились в 2009 и 2010 гг. Их влияние оценивалось по величине урожая клубней в расчете на 1 куст, как интегральному показателю физиологического состояния растений. Эта величина во всех опытных вариантах была выше относительно контрольных растений, но наибольшая продуктивность оказалась при внесении в субстрат 30 % отходов (табл. 3).

В 2010 г. на делянках этих же вариантов проведена повторная посадка этой культуры. Во всех опытных вариантах ее продуктивность также была выше, чем в контрольном варианте, но наибольший урожай (в 2 раза по сравнению с контролем) был при внесении 20 % отходов (см. табл. 3)).

Причина этого смещения оптимальной концентрации в сторону уменьшения состоит в физических свойствах отходов, имеющих очень плотную глинистую консистенцию (удельная масса 1,7). Трудность смешивания отходов с субстратом приводит к их локальному распределению в зоне корневой системы растений. По этой причине даже высокая концентрация отходов (30 %) в первый год внесения отходов в почву оказывается

нетоксичной, поскольку корневая система растений контактирует с отходами лишь частично. После физико-химического выветривания отходов в результате сезонной смены контрастных гидротермических условий в течение года происходят их горизонтальная и вертикальная миграция и равномерное распределение в верхнем горизонте почвы. По этой причине посадка картофеля на другой год дает более точные результаты по реакции растений на реальную концентрацию отходов.

Результаты исследований позволяют утверждать, что концентрация отходов до 20 % к объему олиготрофного субстрата или почвы легкого гранулометрического состава с низким объемом почвенно-поглощающего комплекса приводит к увеличению продуктивности культурных растений. Причиной интенсификации продукционного процесса растений служит стимуляция их физиологического состояния. Остается объяснить, чем она обусловлена.

В одном из вегетационных опытов [7] в субстрат из речного песка и низинного торфа при соотношении 1 : 1 вносили 30 % по объему отходов бурения. Затем каждый из этих компонентов подвергали анализу по таким показателям, как рН водной вытяжки, гранулометрический состав, содержание валового азота и подвижных форм фосфора и калия. Все эти ингредиенты характеризовались контрастными признаками почвенно-физических и агрохимических свойств (табл. 4). Контролем служила средняя по плодородию

Т а б л и ц а 4

Количество отдельных зольных элементов, pH и содержание физической глины в различных субстратах и отходах бурения, вегетационный опыт

Субстрат	pH водной вытяжки	Содержание к объему сухой массы, %		Содержание подвижных форм, мг/100 г сухой массы	
		физической глины	валового азота	P ₂ O ₅	K ₂ O
Луговая почва	6,9	26,9	0,24	34,1	31,2
Речной песок	7,0	2,8	0,0	0,2	1,8
Низинный торф	5,8	0,0	0,50	1,1	0,5
Отходы бурения	8,2	46,9	0,0	0,5	4,7
		Песок + торф + 30 %			
отходов бурения	7,6	16,0	0,07	1,7	4,7

исследуемых показателей луговая почва, тогда как все другие субстраты обладали специфическими признаками, в целом не соответствующими почвенному плодородию. Однако при смешивании всех компонентов – песок + торф + отходы бурения – полученный субстрат в указанных пропорциях приближался по свойствам к почве в результате, например, нейтрализации кислой реакции торфа посредством щелочной реакции отходов бурения или отсутствия физической глины в песке – и, наоборот, – содержанием в отходах физической глины до 47 %. Одновременно этот комплексный субстрат в отсутствие элементов минерального питания растений в речном песке или подвижных форм этих элементов в торфе обогащался небольшим, но существенным их содержанием в отходах бурения. Именно улучшение физических и агрохимических свойств олиготрофных субстратов, какими чаще всего обладают лесоболотные экосистемы Западной Сибири, служит главной причиной стимуляции процессов у растений. Отсюда следует,

что в регионах нефтедобычи, используя “принцип разбавления”, предполагается отходы бурения использовать в качестве мелиоративного фактора в целях улучшения эдафических условий произрастания высших растений, одновременно решая одну из актуальных проблем – рациональной утилизации отходов нефтегазодобывающего производства.

Вполне оправданной была постановка вопроса о транслокационном эффекте возможных токсических элементов донных отложений и водной фазы амбаров, а также присутствующей на ее поверхности нефти тяжелых фракций, т. е. их транспорта из субстрата в вегетативные органы растений. В специально проведенных в 2008 г. лизиметрическом опыте при содержании в субстрате 15 и 30 % отходов бурения и в полевом мелкоделяночном опыте с концентрацией в почве “тяжелой” нефти 1, 2 и 4 % определяли токсические элементы, содержащиеся в перечне СанПиНа в клубнях как пищевом продукте.

Т а б л и ц а 5

Содержание токсических элементов в клубнях картофеля (мг/кг сырой массы) на субстрате с различным содержанием отходов бурения, вегетационный опыт 2008 г.

Элемент	Характеристика	Вариант, % отходов бурения		
		0	15	30
	Норма СанПин 2.3.2.560-96	0	15	30
Медь	5,0	1,25	1,90	2,04
Свинец	0,5	0,10	0,35	0,20
Кадмий	0,03	0,02	0,04	0,02
Мышьяк	0,2	0,2	0,2	0,02

Содержание токсических элементов и тяжелых металлов в клубнях картофеля, выращенного на почве с различным содержанием нефти, полевой опыт 2008 г.

Элемент	Характеристика и норма СанПин 2.3.2.560-96	Содержание нефти в почве, %			
		0	1	2	4
Медь	5,0	2,0	1,4	0,4	1,9
Свинец	0,5	0,4	0,2	0,4	0,2
Кадмий	0,03	0,04	0,03	0,02	0,04
Никель	–	0,6	0,4	0,2	0,7
Ванадий	–	Менее 0,4			
Мышьяк	0,2	То же			

Данные табл. 5 и 6 показывают, что концентрации токсических элементов в клубнях картофеля опытных вариантов находятся в допустимых пределах, предусмотренных нормами СанПина [8], без существенных различий как с контрольным, так и с опытными вариантами. Более того, в отдельных случаях содержание токсических элементов при высокой концентрации отходов находилось на уровне или ниже их фоновой концентрации.

Исключением было небольшое сверхнорменное превышение концентрации кадмия в клубнях картофеля, выращенного на субстрате с содержанием 15 % отходов бурения (см. табл. 5). Однако это превышение следует отнести на счет инструментальной ошибки анализа, поскольку при увеличении содержания отходов до 30 % концентрация этого элемента была ниже ПДК. Эти результаты свидетельствуют об отсутствии транслокационного переноса наиболее распространенных токсичных элементов из почвы (субстрата) в надземные органы растений и атмосферу, что обеспечивает экологическую безопасность для растительного и животного мира промышленно нарушенных природных экосистем.

Таким образом, оценка реакции высших растений на различные концентрации отходов бурения слабой токсичности (IV класс опасности) позволяет сделать следующие выводы:

1. Отходы бурения IV класса опасности при концентрации их в субстрате до 20 % вызывают или индифферентную реакцию древесных и травянистых растений, или оказы-

вают положительное влияние на их продукционный процесс.

2. Положительное влияние отходов бурения на продуктивность растений обусловлено оптимизацией физических и агрохимических свойств олиготрофных субстратов, собственных бореальной зоне нефтегазового комплекса Западной Сибири.

3. Транспорт токсических элементов из субстрата с отходами бурения не приводит к увеличению их содержания в вегетативных органах растений, превышающему уровень ПДК.

4. Результаты выполненных экспериментальных работ говорят о целесообразности проведения производственных испытаний по использованию отходов бурения и высокомолекулярных нефтяных углеводородов на основе “принципа разбавления” как мелиоративного фактора в целях реабилитации промышленно нарушенных природных экосистем и одновременного решения задачи экологически безопасной и экономически оправданной технологии их утилизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биотехнологические методы ликвидации загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами. Обзорная информация // Нефтяная и газовая промышленность. Сер. Защита от коррозии и охрана окружающей среды. М., 1993. 24 с.
2. Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. Сб. науч. трудов. М.: Наука, 1988. 253 с.
3. Маркина И. Г. Влияние буровых отходов нефтяных и газовых скважин на свойства почв и урожайность сельскохозяйственных культур: автореф. дис. ... канд. с./х. наук. Краснодар, 1989. 24 с.

4. Методическое руководство по рекультивации шламовых амбаров без засыпки на территории лесного фонда Российской Федерации в среднетаежной подзоне Западной Сибири. М.: Федеральное агентство лесного хозяйства, 2005. 38 с.
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1965. 421 с.
6. Игнатьев Л. А. Реакция растений на повреждающее действие абиотических факторов и регуляция их продуктивности в условиях неустойчивой погоды: дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 1993. 395 с.
7. Седых В. Н., Игнатьев Л. А., Семенюк М. В. Реакция растений на воздействие отходов бурения. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2004. 103 с.
8. СанПин охраны поверхностных вод от загрязнения (СанПин № 4630-88). М., 1988.

Reaction of the Plants to Bore-Hole Wastes of the Oil and Gas Producing Complex of West Siberia

R. Yu. SHAGUT, L. A. IGNATYEV*

*Yugra State University,
Institute of Nature Management
628012, Khanty-Mansiysk, Chekhov str., 16*

**Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS
630099, Novosibirsk, Sovetskaya str., 18
E-mail: ignatev37@ngs.ru*

Information about changes in the state of plants under the action of waste materials from oil and gas well-boring (WB) and about the transfer of toxic elements from soil to vegetative organs is presented. It was established that the growth and productivity of plants are stimulated if the concentration of WB in oligotrophic substrates is up to 20 %, without the transfer of individual elements into vegetative organs.

Key words: bore-hole waste, reaction of plants, production process.