

УДК 579.873.6

## Оценка эффективности использования цеолита для ускорения деструкции нефти в почве

© 2017 г. Т.П. АЛЕКСЕЕВА<sup>1</sup>, Т.И. БУРМИСТРОВА<sup>1\*</sup>, Н.М. ТРУНОВА<sup>1</sup>, Л.Б. НАУМОВА<sup>2,\*\*</sup>, Л.П. ШИЛЯЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа, филиал Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий Российской академии наук, Томск, 634050

<sup>2</sup>Томский государственный университет, Томск, 634050

e-mail: zagtsuru@gmail.com\*, naumovalb@mail.ru\*\*

Поступила 11.10.2016 г.

Принята в печать 26.12.2016 г.

Исследовано влияние цеолита и торфоминеральной композиции, содержащей цеолит, на процесс биоремедиации почвы. Эффективность деструкции нефти при внесении в почву цеолита и торфоминеральной композиции в период проведения опыта (6 мес) составляла более 40% и более 50%, соответственно. Отмечены более интенсивный рост численности аммонификаторов, УОМ и микробных разрушителей целлюлозы, а также увеличение активности дегидрогеназы и каталазы в почве при использовании торфоминеральной композиции, содержащей цеолит, по сравнению с их активностью без цеолита. По окончании 6 мес степень деградации нефти в почве со смесью ТМК+цеолит была ~ на 16% выше, чем в почве с композицией без цеолита, и на 45% выше, чем в условиях естественного самоочищения. Исследуемая композиция ТМК+цеолит может быть использована при создании продуктов для биоремедиации нефтяных загрязнений в почве.

*Ключевые слова:* биоремедиация, нефть, степень деструкции, торфоминеральная композиция, углеводородокисляющие микроорганизмы, ферментативная активность, цеолит.

doi: 10.21519/0234-2758-2017-33-4-85-91

Резкое ухудшение экологической обстановки в результате техногенного воздействия настоятельно требует поиска эффективных методов решения этой проблемы. Загрязнение грунтов нефтяными разливами приводит к нарушению не только почвенного покрова, но также всей экосистемы. В связи с постоянно увеличивающимися объемами используемых человеком территорий и ростом техногенных ландшафтов, отрицательно влияющих на экологическую обстановку окружающих участков, разработка эффективных методов для восстановления земель, подвергшихся разрушающему воздействию, является чрезвычайно актуальной проблемой.

Последние десятилетия многими учеными изыскиваются разнообразные пути ликвидации техногенных загрязнений. Интенсивность про-

цессов естественного самоочищения природных объектов от нефтяного загрязнения невысока и зависит от природных климатических условий региона: наличия влаги, тепла и активной жизнедеятельности почвенного биоценоза. Наибольший интерес представляет разработка рекультивации земель биологическим путем, в основу которого положена активация микробиологической деструкции нефти.

Существует два способа биологической рекультивации почвы: стимуляция метаболической активности естественной микрофлоры путем изменения физико-химических условий среды [1–5] и внесение в почву специально подобранных штаммов нефтеокисляющих микроорганизмов [6–9]. Однако необходимость длительной и не всегда эффективной адаптации приводит к тому,

*Список сокращений:* КАА – крахмало-аммиачный агар; ТМК – торфоминеральная композиция; ТМК1 – торфоминеральная композиция без внесения цеолита; ТМК2 – торфоминеральная композиция с внесением цеолита Хонгуринского месторождения; ТФФ – трифенилформазан; УОМ – углеводородокисляющие микроорганизмы, NP – минеральные азотно-фосфорные удобрения.

что активность специально внесенных в почву популяций быстро снижается. Наоборот, естественная микрофлора может довольно успешно быть активирована, в частности, путем добавления в почву цеолита. Этот компонент благодаря своей высокопористой структуре обладает большой активной поверхностью, что обуславливает интенсивную адгезию из почвы клеток нефтеусваивающих микроорганизмов, а наличие в его составе широкого спектра макро- и микроэлементов обеспечивает их питание. Совокупность этих факторов способствуют формированию в загрязненном грунте центров активной деструкции нефтяных углеводородов [10].

Наиболее эффективным для рекультивации нефтезагрязненных почв является использование цеолита в сочетании с органической составляющей – торфом, опилками, навозом, осадком сточных вод и т.д. Торф и продукты на его основе, в которых присутствуют в высокой численности углеводородокисляющие микроорганизмы, могут служить как сорбентом нефтяных компонентов, так и их деструктором [11]. Таким образом, использование торфа в сочетании с цеолитом может обеспечить более интенсивную деградацию нефтяных углеводородов.

Целью настоящей работы было исследование способности цеолита различных месторождений и фракций и торфоминеральной композиции

(ТМК), содержащей цеолит, воздействовать на процесс микробной деструкции нефтяных углеводородов в почве.

## УСЛОВИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

### Почва

Образцы дерново-подзолистой почвы, искусственно загрязненной сборной товарной западно-сибирской нефтью, служили объектом биоремедиации. Сухую почву из горизонта 0–20 см просеивали через сито с диаметром отверстий 3 мм. Просеянную почву (1 кг) увлажняли до 40% от полной влагоемкости и вносили в нее определенное количество необходимых компонентов.

### Схемы экспериментов

Для оценки стимулирующего воздействия цеолита на процесс микробной деструкции нефтяных углеводородов использовали две экспериментальные схемы (табл.1)

В опыте 1 исходное содержание нефти составляло 45 г/кг сухой почвы. Цеолит вносили в количестве 2,5 г/кг сухой почвы (из расчета 3 т/га пахотного горизонта 0–20 см). Дозу внесения минеральных азотно-фосфорных удобрений рассчитывали исходя из нормы 60 кг N и P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 1 га пахотного горизонта (0,147 г/кг – аммиачная селитра («Азот», Кемерово) и 0,104 г/кг – двойной

Таблица 1

**Экспериментальные схемы, использованные для оценки влияния цеолита и торфоминеральной композиции (ТМК) на интенсивность очистки почвы от нефтяных углеводородов**

**Experimental schemes for assessment of zeolite and peat-mineral composition effect on intensity of soil decontamination from oil hydrocarbons**

Оцениваемый компонент	Контроль	Варианты опыта
	<i>Опыт № 1</i>	
Цеолит различных месторождений и различных фракций	Почва (П)+ нефть (Н)+ удобрения (NP)	+ X (фракция 0,5–1,0 мм) + X (фракция <0,25 мм) + Ш (фракция 0,5–1,0 мм) + Ш (фракция <0,25 мм)
<i>Опыт № 2</i>		
ТМК1 ТМК2	Почва (П)+ нефть (Н)	+ ТМК + ТМК + X (фракция 0,5–1,0 мм)

*Примечание:* X – цеолит Хонгуринского месторождения; Ш – цеолит Шивыртуйского месторождения; NP – минеральные азотно-фосфорные удобрения; ТМК приготовлены из низинного торфа месторождения Темное, Томская обл. и минеральных удобрений (NP).

*Footnote:* X, zeolite from Khongurinskoye deposit; Ш, zeolite from Shivyrtuiskoye deposit; NP, mineral nitrogen-phosphoric fertilizers; peat-mineral compositions were prepared from lowland peat of Temnoye deposit in Tomskaya Oblast (Russia) and mineral fertilizers (NP).

**Изменение количества УОМ, активности окислительно-восстановительных ферментов и степени деструкции нефтяных углеводородов (опыт № 1)****Changes of NOM number, redox enzyme activities and degree of oil hydrocarbon destruction during experiment 1**

Вариант опыта	Численность УОМ, · 10 <sup>5</sup> кл/г сухой почвы		Дегидрогеназа, мг ТФФ/(10 г · сут)		Каталаза, мл О <sub>2</sub> /(1 г · мин)		Степень деструкции нефти, %	
	10 сут	180 сут	10 сут	180 сут	10 сут	180 сут	10 сут	180 сут
1: Контроль 1 П+Н	1250	1100	8,10	1,03	1,9	1,8	4	15
2: Контроль 2 П+Н+NP	1200	900	5,46	1,19	2,1	2,0	22	36
3: П+Н+NP+X (0,5–1,0 мм)	3738	920	11,98	2,93	3,9	2,3	34	46
4: П+Н+NP+X (<0,25 мм)	1900	1020	11,73	2,99	4,2	3,0	32	48
5: П+Н+NP+Ш (0,5–1,0 мм)	1580	683	10,40	2,68	2,5	2,2	31	46
6: П+Н+NP+Ш (<0,25 мм)	1817	1010	10,90	2,96	2,7	2,4	30	47

*Примечание:* степень деструкции нефти рассчитывали от ее исходного содержания. Обозначения см. табл.1.

*Footnote:* hereafter, the rate of oil destruction is given in percent to its initial content. For designations, see Table 1.

суперфосфат («Фосагро», Невинномысск, Ставропольский край)). Образцы почвы для анализа отбирали через 10 и 180 сут.

В опыте 2 содержание нефти составляло 100 г/кг, ТМК1 – 17,1 г/кг и ТМК2 – 19,6 г/кг сухой почвы. Доза торфа, вносимого в почву в составе ТМК влажностью ~60%, была эквивалентна 50 т на 1 га пахотного горизонта. Образцы почвы для анализа отбирали через 10, 30 и 180 сут.

Необходимое количество компонентов вносили в сухую, просеянную через сито (диаметром 3 мм) почву (массой 1 кг) и увлажненную до 40% полной влагоемкости. Для поддержания оптимальной влажности и оптимальных условий аэрации проводили периодический полив почвы и ее рыхление. Опыты проводили в трехкратной повторности.

#### **Воздействие цеолита и ТМК на популяции почвенных микробов и деструкцию нефти**

Оценивали стимулирующее воздействие цеолита на численность основных физиологических групп микроорганизмов (аммонификаторов, усваивающих органические формы азота; микроорганизмов, усваивающих минеральные формы азота (растущих на КАА), целлюлозоразрушающих микроорганизмов) [12]; на численность углеводородокисляющих микроорганизмов (на элективной среде Мюнца) [13], а также на активность окислительно-восстановительных ферментов (каталаза и дегидрогеназа) [14].

Степень деструкции нефтяных углеводородов в почве определяли весовым методом согласно инструкции по контролю за состоянием почв на объектах предприятий Миннефтегазпрома (РД 39-0147098-90).

#### **РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ**

В табл. 2 приведена динамика численности углеводородокисляющих микроорганизмов (УОМ), активности окислительно-восстановительных ферментов (дегидрогеназы, каталазы) и степени деструкции нефтяных углеводородов по результатам опыта 1.

Самая высокая численность УОМ и активность окислительно-восстановительных ферментов (каталазы и дегидрогеназы) спустя 10 сут от начала опыта были обнаружены в вариантах с использованием цеолита (варианты 3–6), особенно цеолита Хонгуринского месторождения (варианты 3 и 4), что обеспечило в этом случае и сравнительно более высокую степень деструкции нефтяных углеводородов. Остаточное содержание нефти в почве составило около 30 г/кг почвы.

Через 6 мес от начала эксперимента во всех рассматриваемых вариантах наблюдается уменьшение количества УОМ в почве, особенно в образцах с внесением цеолита. По-видимому, это обусловлено сокращением к этому сроку в составе нефти легкодоступных низкомолекулярных

**Численность аммонификаторов и микроорганизмов, потребляющих минеральный азот, в контаминированной почве (опыт № 2)****Population of ammonifiers and mineral nitrogen-assimilating microorganisms in oil-contaminated soil (experiment 2)**

Вариант опыта*	Аммонификаторы			Микроорганизмы, растущие на КАА		
	Общая численность	Бактерии	Актиномицеты	Общая численность	Бактерии	Грибы
<i>10 сут., · 10<sup>8</sup> кл/г почвы</i>						
1	77,53	77,53	0,00	37,5	37,5	0,00
2	29,84	29,47	0,37	20,5	26,1	0,19
3	8,90	8,90	0,00	13,5	13,5	0,00
<i>30 сут., · 10<sup>8</sup> кл/г почвы</i>						
1	201,4	201,4	0,00	132,5	132,5	Н.о.
2	476,3	476,3	0,00	222,9	222,9	Н.о.
3	467,4	4,0	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.
<i>180 сут., · 10<sup>6</sup> кл/г почвы</i>						
1	64,13	64,13	< 10 <sup>2</sup>	3,50	3,50	< 10 <sup>2</sup>
2	0,27	0,27	< 10 <sup>2</sup>	43,20	43,20	< 10 <sup>2</sup>
3	1,80	1,80	< 10 <sup>2</sup>	18,60	18,34	0,26

Примечание: здесь и в табл. 5 Н.о. – не определяли (not determined).

\*Нумерацию вариантов опыта см. в табл. 2 (for designations, see Table 2).

парафиновых углеводородов и исчерпанием биогенных элементов (азота и фосфора, содержащихся в удобрениях). К этому времени во всех рассматриваемых вариантах отмечено также снижение каталазной и дегидрогеназной активности, свидетельствующее об уменьшении содержания в составе нефти перекисных соединений и углеводородов, способных к дегидрированию. Но, как и в начале опыта, активность этих ферментов в вариантах с использованием цеолита выше, чем в контрольных.

К концу 6 мес исследования самая высокая степень деструкции нефтяных углеводородов отмечена в вариантах с использованием цеолита (см. табл. 2, варианты 3–6). Она оказалась выше, чем в варианте с внесением только азотно-фосфорных удобрений (см. табл. 2, вариант 2). В контрольном варианте без внесения в нефтезагрязненную почву мелиорирующих композиций (см. табл. 2, вариант 1) степень деструкции нефтяных углеводородов незначительна (15%).

Таким образом, анализ состава микробиоты, ферментативной активности и степени деструкции нефтяных углеводородов показал, что внесение цеолита в нефтезагрязненную почву обеспечивало временное увеличение популяций мик-

робных деструкторов, повышение активности ферментов деградации и в конечном итоге более высокую степень очистки почвы.

Применение различных фракций цеолита (0,5–1,0 мм и <0,25 мм) как Хонгуриновского, так и Шивыртуйского месторождений для очистки нефтезагрязненной почвы не выявило заметных различий в рассматриваемых показателях (сравни табл. 2, варианты 3–6).

В табл. 3–5 приведена динамика численности некоторых физиологических групп микроорганизмов (опыт 2).

Микробиологический анализ спустя 10 сут от начала опыта показал, что численность аммонификаторов в опыте ниже, чем в контрольном варианте (см. табл. 3). Численность УОМ (см. табл. 4), а также микроорганизмов, потребляющих минеральные формы азота (микроорганизмы, растущие на КАА, см. табл. 3) во всех рассматриваемых вариантах в это время практически одинакова. Общая численность разрушителей целлюлозы в вариантах с внесением цеолитсодержащей торфоминеральной композиции (табл. 5, вариант 3) более чем втрое выше по сравнению с использованием торфоминеральной композиции без цеолита (см. табл. 5, вариант 2).

## Численность УОМ в контаминированной почве (опыт № 2)

## Population of NOM in oil-contaminated soil (experiment 2)

Численность физиологических групп микроорганизмов ( $10^8$ кл/г почвы)	Варианты опыта								
	1: П+Н			2: П+Н+ТМК1			3: П+Н+ТМК2		
	10 сут	30 сут	180 сут	10 сут	30 сут	180 сут	10 сут	30 сут	180 сут
Общая численность	21,30	590,70	323,70	17,24	350,40	7,2	10,17	943,60	237,6
Бактерии	21,12	590,25	316,70	17,05	350,21	5,6	9,44	942,34	234,0
Актиномицеты	0,00	0,00	5,25	0,19	0,00	0,8	0,00	0,90	1,8
Дрожжи	0,18	0,45	–	0,00	0,19	–	0,55	0,36	–
Грибы	0,00	–	1,80	0,00	–	0,8	0,18	–	1,8

Примечание: (–) – компонент не обнаружен (not determined).

## Численность разрушителей целлюлозы в нефтезагрязненной почве (опыт № 2)

## Population of cellulose-degrading microorganisms in oil-contaminated soil (experiment 2)

Численность физиологических групп микроорганизмов ( $\cdot 10^3$ кл/г почвы)	Варианты опыта								
	1: П+Н			2: П+Н+ТМК1			3: П+Н+ТМК2		
	10 сут	30 сут	180 сут	10 сут	30 сут	180 сут	10 сут	30 сут	180 сут
Общая численность	18,2	27,0	856,0	28,90	21,9	54,0	96,12	41,8	243,0
Миксобактерии	0,0	17,9	312,0	0,00	0,0	$< 10^2$	11,07	1,8	81,0
Актиномицеты	16,4	7,4	353,3	27,03	19,2	18,0	83,18	37,3	72,0
Грибы	1,8	1,7	$< 10^2$	1,87	2,7	9,0	1,87	2,7	$< 10^2$
Роды <i>Coronoium</i> + <i>Demathium</i>	Н.о.	Н.о.	190,7	Н.о.	Н.о.	27,0	Н.о.	Н.о.	90,0

Внесение в нефтезагрязненную почву ТМК начинает сказываться на микробном составе почвы на 30-е сутки опыта. К этому времени численность аммонификаторов возросла на 1–2 порядка, микроорганизмов, потребляющих минеральные формы азота на порядок, а УОМ почти на 2 порядка (см. табл. 3, 4, 5, варианты 2 и 3). При этом в варианте 3 численность УОМ и разрушителей целлюлозы была в 2 раза выше, чем в варианте 2 (см. табл. 4 и 5). Популяция разрушителей целлюлозы к этому времени оставалась на низком уровне во всех вариантах опыта.

Микробиологический анализ почвы всех рассматриваемых вариантов спустя 6 мес от начала опыта показал значительное сокращение численности всех исследуемых физиологических групп (см. табл. 3–5). Нужно отметить, что в варианте без внесения торфоминеральных композиций численность УОМ оказалась выше, чем в вариантах с использованием ТМК (сравни табл. 4, варианты 1 и 2, 3). По всей вероятности, в при-

сутствии ТМК деструктивные процессы протекают с большей скоростью и к 6-му месяцу опыта в нефти остаются только труднодоступные для микроорганизмов углеводороды, тогда как процесс естественного самоочищения (вариант 1) идет значительно медленнее. Отмечено положительное влияние цеолита на численность УОМ (вариант 3): число углеводородокисляющих микроорганизмов в варианте 3 опыта № 2 ~ в 30 раз выше, чем в варианте 2 (без внесения цеолита). Целлюлозоразрушающие микроорганизмы также положительно реагируют на внесение в состав ТМК цеолита: численность этих микроорганизмов в варианте с цеолитом в 5 раз выше, чем в варианте без цеолита (см. табл. 4, варианты 2 и 3).

В табл. 6 приведена динамика активности окислительно-восстановительных ферментов (каталазы и дегидрогеназы) в процессе биоремедиации. Отмечено, что внесение в нефтезагрязненную почву торфоминеральных композиций обеспечило более высокие значения дегидрогеназой

Таблица 6

**Активность окислительно-восстановительных ферментов в нефтезагрязненной почве (опыт № 2)****Activity of redox enzymes in oil-contaminated soil (experiment 2)**

Фермент	1: П+Н			2: П+Н+ТМК1			3: П+Н+ТМК2		
	10 сут	30 сут	180 сут	10 сут	30 сут	180 сут	10 сут	30 сут	180 сут
Дегидрогеназа, мг ТФФ / (24 ч 10 г почвы)	11,6	10,1	13,8	15,9	15,1	15,1	15,3	16,2	16,2
Каталаза, мл O <sub>2</sub> / (г·мин)	1,5	8,3	19,4	3,0	8,1	5,4	9,1	24,2	6,2

Таблица 7

**Деструкция нефти в процессе биоремедиации (опыт № 2)****Oil destruction as a result of bioremediation (experiment 2)**

Показатель	1: П+Н		2: П+Н+ТМК1		3: П+Н+ТМК2	
	30 сут	180 сут	30 сут	180 сут	30 сут	180сут
Содержание нефти, г/кг почвы	95±0,3	88±0,2	76±0,4	50±0,1	75±0,2	42±0,2
Степень деструкции нефти, %	5	12	24	50	25	58

активности по сравнению с контрольным вариантом, что характерно для любого срока отбора и анализа почвенных образцов. Это свидетельствует об активизации биохимических процессов, связанных с дегидрированием нефтяных углеводородов (см. табл. 6, варианты 2, 3). Подобная закономерность отмечена и для каталазной активности. Более высокая активность каталазы наблюдается в случае использования торфоминеральной композиции с цеолитом (см. табл. 6, вариант 3), что свидетельствует об интенсивности протекания в этом случае биохимических процессов с образованием перекиси водорода, которая утилизируется при участии каталазы.

Определение содержания остаточной нефти в почве спустя 1 мес и 6 мес от начала опыта 2 показало (табл. 7), что во всех вариантах, в том числе и в контрольном, с различной интенсивностью происходили процессы деструкции нефтяных углеводородов.

К окончанию 1-го месяца исследований процессы деструкции нефти в вариантах с использованием ТМК как с цеолитом (см. табл. 7, вариант 3), так и без него (вариант 2) имели практически одинаковые результаты. К 6-му месяцу от начала опыта положительное влияние цеолита в составе ТМК2 (вариант 3) было более выраженным – степень деструкции нефтяных углеводородов в этом случае оказалась выше, чем при использовании ТМК1 без цеолита.

Таким образом, внесение цеолита в состав торфоминеральной композиции стимулировало рост численности деструктивной микрофлоры и ее ферментативную активность в нефтезагрязненной почве, что обеспечило повышение степени очистки почвы от нефтяных углеводородов. Применение различных фракций цеолита (с частицами размером 0,5–1,0 мм и менее 0,25 мм) как Хонгуринского, так и Шивыртуйского месторождений для очистки нефтезагрязненной почвы не выявило заметных различий между ними по рассматриваемым показателям. Исследованные торфоминеральные композиции могут быть рекомендованы для биоремедиации нефтяных загрязнений в почве.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Киреева Н.А. Использование биогумуса для ускорения деструкции нефти в почве. *Биотехнология*, 1995, 5–6, 32–34.
2. Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н. и др. Перспективы использования торфа для очистки нефтезагрязненных почв. *Биотехнология*, 2000, 1, 58–65.
3. Хазиев Ф.Х., Фатхиев Ф.Ф. Изменение биохимических процессов в почвах при нефтяном загрязнении и активация разложения нефти. *Агрехимия*, 1981, 10, 102–112.

4. Голодков А.М., Лазарчик В.Е., Лазарчик В.М., Черкашина Н.Ф. Восстановление плодородия нарушенных почв с помощью биогумуса. *Плодородие*, 2003, 1, 18–21.
5. Середина В.П., Андреева Т.А., Алексеева Т.П. и др. Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация. Томск: ТПУ. 2006, 3–270.
6. Терещенко Н.Н., Лушников С.В., Пышьева Е.В. Рекультивация нефтезагрязненных почв. *Экол. пром. России*, 2002, 10, 17–20.
7. Gallego J.R., Loredó J., Jlamas J. F., et al. Bioremediation of diesel-contaminated soils: evaluation of potential in situ techniques by study of bacterial degradation. *Biodegradation*, 2001, 12, 325–335.
8. Исмаилов Н.М. Биодegradация нефтяных углеводородов в почве, инокулируемой дрожжами. *Микробиология*, 1985, 54(5), 835–841.
9. Архипченко И.А., Загвоздкин В.К., Ерцев Г.Н. Очистка нефтезагрязненных почв с помощью биопрепаратов на основе микробных удобрений. *Экол. пром. России*, 2004, 9, 16–18.
10. Терещенко Н.Н., Лушников С.В., Пышьева Е.В. Биологическая азотфиксация как фактор ускорения микробной деструкции нефтяных углеводородов в почве и способы ее стимулирования. *Биотехнология*. 2004, 5, 41–44.
11. Сысоева Л.Н., Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Трунова Н.М.. Состав для очистки почвы от нефтяных загрязнений. Патент РФ 2422219, В09С1/10. 2011.
12. Асеева И.В., Бабьева И.П., Бызов Б.А., Звягинцев Д.Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М: МГУ, 1991, 3–304.
13. Керстен Д.К. Морфологические и культуральные свойства индикаторных микроорганизмов нефтяной съемки. *Микробиология*, 1963, 1024–1030.
14. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной этимологии. М: Наука. 1990, 3–179.

## Assessment of Effectiveness of Zeolite in Acceleration of Oil Degradation in Soil

T.P. ALEKSEEVA<sup>1</sup>, T.I. BURMISTROVA<sup>1,\*</sup>, N.M. TRUNOVA<sup>1</sup>, L.B. NAUMOVA<sup>2,\*\*</sup>, and L.P. SHILYAEVA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Branch of the Siberian Federal Agri-Science Centre, Russian Academy of Sciences, 634050, Tomsk, Russia

<sup>2</sup>Tomsk State University, 634050, Tomsk, Russia

e-mail: zagtsuru@gmail.com\*, naumovalb@mail.ru\*\*

Received October 11, 2016

Accepted December 26, 2016

**Abstract**—The influence of zeolite and a zeolite-containing peat-mineral composition on the process of soil bioremediation has been studied. The effectiveness of oil decomposition as a result of the use of zeolite and peat-mineral composition during 6 months was more than 40% and more than 50%, respectively. The higher increase in ammonifier, HOM and cellulose-destroying microorganism populations and also more intense growth of the catalase and peroxidase activities in soil were observed when PMC+zeolite was used as compared to PMC without zeolite. After 6 months, the degree of oil destruction using the PMC+zeolite mixture was by ~16% higher than using the composition without zeolite and by 45% higher than in the natural bioremediation process. The PMC+zeolite composition can be helpful in the design of products for the bioremediation of petroleum-contaminated soil.

**Key words:** hydrocarbon-oxidizing microorganisms, oil, zeolite, peat-mineral composition, bioremediation, degree of degradation, enzymatic activity.

**doi:** 10.21519/0234-2758-2017-33-4-85-91