

УДК 550.72 + 504.054 + 57.047

НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЕ ЗЕМЕЛЬ КРИОЛИТОЗОНЫ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА ИХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

© 2016 С.А. Петров¹, А.М. Субботин¹, Н.Л. Мамаева^{1,2}, М.В. Нарушко¹¹Тюменский научный центр СО РАН, г. Тюмень²Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Статья поступила в редакцию 09.10.2016

В статье приведен один из подходов биологической рекультивации нефтезагрязненных земель с помощью штаммов бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород. Показано, что штаммы бактерий положительно влияют на морфофизиологические параметры растений в условиях нефтяного загрязнения.

Ключевые слова: рекультивация, штамм, бактерия, нефтезагрязненные земли, техногенез

Арктическая зона РФ – обширная, важная и многоликая территория нашей страны, имеющая важнейшее национальное достояние, так как здесь сосредоточены свыше 70% природных богатств [1]. При этом нефтяная промышленность по опасности воздействия на окружающую среду занимает третье место среди 130 отраслей современного производства, так ни один из ныне действующих в России нефтегазовых промыслов не относится к так называемым «безотходным производствам» [2, 3]. Основными техногенными факторами, определяющими трансформацию экосистем криолитозоны при эксплуатации нефтяных месторождений, считаются: механические нарушения растительного и почвенного покрова, перераспределение стока воды, поступление отходов нефтедобычи во все природные компоненты, вследствие чего происходит загрязнение атмосферного воздуха, снегового покрова, почв, поверхностных и подземных вод, донных отложений [4]. Для северных территорий важнейшим условием формирования геологической среды является наличие многолетнемерзлых пород (ММП). В современных условиях потепления климата и антропогенного воздействия отмечается деформация криогенных геосистем. Следует отметить, что устойчивость структуры ландшафтов криолитозоны относительна и во многом определяется состоянием ММП [5].

Петров Сергей Анатольевич, доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела «Биоресурсов криосферы». E-mail: tumiki@mail.ru

Субботин Андрей Михайлович, кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела «Биоресурсов криосферы». E-mail: subbotin.prion@yandex.ru

Мамаева Наталья Леонидовна, ассистент кафедры «Техносферная безопасность». E-mail: tataeva.natali2011@mail.ru

Нарушко Максим Викторович, младший научный сотрудник отдела «Биоресурсов криосферы». E-mail: narushkomv@mail.ru

Поэтому одним из основополагающих принципов минимизация техногенного воздействия с целью сохранения окружающей среды в зонах размещения производственных объектов северных территорий Евразии является рекультивация (восстановление плодородия) нарушенных тундровых почв.

Важным этапом восстановления плодородия является биологическая рекультивация [6], которая осуществляется немедленно после завершения технического этапа и заключается в проведении комплекса агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на восстановление плодородия земель. Однако в условиях сурового климата тундры об эффективности рекультивации почв можно будет судить по факту регенерации на них исходной растительности только спустя десятки лет после начала рекультивации [7, 8].

Цель работы – оценить масштаб загрязнения почв криолитозоны Ханты-Мансийского автономного округа-Югры (ХМАО-Югры) и разработать способ восстановления нарушенных земель с использованием аборигенных микроорганизмов, выделенных из ММП.

Методы исследования. Для анализа экологического состояния земель в ХМАО-Югре использованы официальные данные, подготовленные Службой по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа-Югры за 2004–2014 гг. [9].

В исследовании использовались бактерии выделенные из проб ММП преимущественно галоцеенового периода полученных с разных глубин: штамм *Bacillus cereus* B1T, депонированный во Всероссийской Коллекции Промышленных Микроорганизмов (ВКПМ) ФГУПГосНИИГенетика за № В – 12242; штамм *Bacillus cereus* B3CH, депонированный во ВКПМ ФГУПГосНИИГенетика за № В–12401; штамм *Serratia fonticola* B2CH

идентифицирован и передан на хранение в ВКПМ ФГУП ГосНИИ Генетика 30.07.2015; штамм *Bacillus cereus* В1М. Культивирование штаммов бактерий осуществляли 24 часа в аэробных условиях в термостате при температуре от +25 до +36 °С. Культивирование происходило при соблюдении стерильности посевом клеток бактерий штрихом в стандартные пробирки на скошенный питательный агар для культивирования микроорганизмов (ГРМ – агар, г. Оболенск). Определяли количество микробных клеток в полученной суспензии методом предельных разведений с последующим высевом на агаризованную питательную среду и подсчетом выросших колоний. После определения количества клеток бактерий в исходной суспензии плотность культур доводили до рабочей концентрации в 1×10^7 м.к./мл. В эксперименте в качестве растения-рекультиванта использовали семена овса посевного (*Avena sativa* L.) сорта Мегион, которые обрабатывали полученной микробной суспензией.

Семена овса замачивали в 50 мл бактериальной суспензии содержащей 10 млн. м.к./мл, экспозиция 2 часа, затем высевали в 3 вегетационных сосуда объемом 0,5 л с песком и поливали 50 мл бактериальной суспензией однократно. Длительность эксперимента составила 20 дней. Обработанные семена овса посевного высевали на предварительно загрязненную нефтепродуктами почву в концентрации 2%, 5%, 10% по 100 семян в каждый вариант эксперимента. В контрольных вариантах семена сеяли на чистую не загрязненную почву – «чистый» контроль. Интактным контролем служили семена, посеянные на нефтезагрязненную почву 2%, 5%, 10% по содержанию нефти. Проба нефти для эксперимента получена на ЗАО «Антипинский НПЗ» 29.03.13 г. с нефтеперекачивающей станции «Тюмень 3» по ГОСТ Р 51858 – 2002 [10]. Номер пробы – 4865. Семена проращивали при температуре +22 °С.

Энергию прорастания оценивали на 5 сутки. Всхожесть проростков оценивали на 5 – 15 – 20 сутки. На 20 сутки исследования учитывали морфометрические показатели овса. В процессе исследования измеряли количество корней, максимальную длину корня, длину coleoptily и стеблевого побега, количество листьев, длину и ширину первого листа, площадь листовой пластинки, которая рассчитывается по уравнению:

$$A = L \cdot W \cdot bi, \quad (1)$$

где L – длина листовой пластинки; W – максимальная ширина; bi = 0,835 [11].

В процессе эксперимента оценивали содержание пигментов фотосинтеза: хлорофиллов (a, b) и каротиноидов (k), которые определяли спектрофотометрическим методом. Навеску

растительного материала растирали с Na_2SO_4 и 96% этиловым спиртом. Полученный гомогенат фильтровали и количественно переносили в мерную колбу. Для расчета концентрации хлорофиллов a, b и каротиноидов в вытяжке пигментов определяли ее оптическую плотность на спектрофотометре ПЭ – 5400УФ при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения определяемых пигментов в данном растворителе (λ равна 662, 644 и 440 нм). Контроль – чистый растворитель (96% спирт). Концентрацию пигментов в вытяжке рассчитывали по формулам:

$$Ca = 9,78D_{662} - 0,99D_{644}, \quad (2)$$

$$Cb = 21,43D_{644} - 4,65D_{662}, \quad (3)$$

$$Ck = 4,7D_{440} - (1,38D_{662} - 5,48D_{644}) \quad (4)$$

где D – оптическая плотность при данной длине волны.

Статистическая обработка производилась с использованием интегрированного пакета программного обеспечения «SPSS 11,5 for Windows» (среднее арифметическое значение, медиана, мода, дисперсия и ее производное). Проводили сравнение достоверности различий (сходства) между статистическими характеристиками по критерию Стьюдента. Достоверность различий между средними значениями рассчитывали по стандартной ошибке средней арифметической величины. При отсутствии нормального распределения использовали непараметрические методы сравнения двух выборок с расчетом парного критерия Wilcoxon.

Результаты и обсуждение. Установлено, что ежегодно (с 2004 по 2014 гг.) площадь загрязненных земель в ХМАО-Югре увеличивается на 5259 га, что составляет 9,1%. Основными видами загрязнений почв являются нефть и нефтепродукты, стоки, образующиеся в резервуарах вследствие обводненности нефтепродуктов (подтоварные воды) и газовая смесь, которая образуется при утилизации попутного нефтяного газа в факельных установках. Состояние почв в ХМАО-Югре Тюменской области в 2014 г. и рекультивация нефтезагрязненных земель (в среднем на 1 административный район) представлены в табл. 1.

Как видно из приведенных данных, в 2014 г. соотношение площади загрязненных земель нефтью и нефтепродуктами и рекультивированных загрязненных земель составила 1,7:1. По состоянию на 01.01.2015 г. площадь загрязненных земель в среднем по административным районам ХМАО-Югре составила $518,52 \pm 200,55$ га, причем из них площадь земель загрязненных нефтью и нефтепродуктами составляет 73,84%. В Реестр внесен 19731 загрязненный участок (общей площадью около 4668 га).

Таблица 1. Площадь загрязненных и рекультивированных земель в ХМАО-Югре

Вид приоритетного загрязняющего вещества	Площадь загрязненных земель образованных в 2014 г., га	Рекультивированная площадь загрязненных земель в 2014 г., га	Площадь загрязненных земель на 01.01.2015 г., га
нефть, нефтепродукты	17,59 ± 7,69	17,95 ± 6,52	382,87 ± 150,19
подтоварные воды	14,37 ± 8,66	0,55 ± 0,26	135,69 ± 53,33
газовая смесь	0,0067 ± 0,0038	0	0,088 ± 0,053
ВСЕГО	31,97 ± 16,07	18,44 ± 6,68	518,52 ± 200,55

По видам загрязнения они распределились следующим образом:

- нефтью и нефтепродуктами – 16469 участков площадью 3445 га (73,8% от всей площади);
- подтоварной водой – 3234 участка площадью 1222 га (26,18% от всей площади);
- газовым конденсатом – 28 участков площадью 0,75 га (0,02% от всей площади).

Динамика образования и рекультивации земель, загрязненных нефтью, нефтепродуктами, газовым конденсатом и подтоварной водой с 2004 по 2014 гг. в ХМАО-Югре представлены на рис. 1.

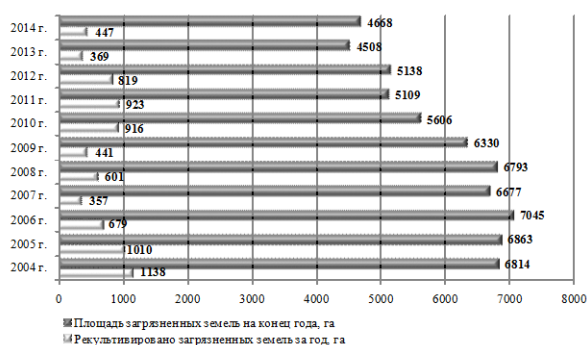


Рис. 1. Динамика образования и рекультивации земель, загрязненных нефтью, нефтепродуктами, газовым конденсатом и подтоварной водой в ХМАО-Югре

Как видно из рисунка, площадь рекультивируемых земель в 2014 г. по сравнению с 2013 г. увеличилась на 78 га и составляет 447 га, но в 2010-2012 гг. площадь рекультивированных земель регистрировалась в 2 раза больше по сравнению с 2014 г. и составляла в 2010 г. – 916 га; в 2011 г. – 923 га; 2012 г. – 819 га. В то же время площадь загрязненных земель в 2004 г. составляла 6814 га, а в 2014 г. уменьшилась на 2146 га и составила 4668 га (68,5% от площади 2004 г.). В настоящее время общая площадь нефтезагрязненных земель составляет почти 10% от всей площади земель ХМАО-Югры. Наибольшие площади загрязненных земель накоплены двумя нефтепользователями ОАО «НК «Роснефть»: ООО «РН-Юганскнефтегаз» – 1904 га, что составляет 41% от общей площади загрязненных земель и

ОАО «Самотлорнефтегаз» – 1522 га, что составляет 33% от общей площади.

В связи с тем, что, техногенное загрязнение Арктики сохраняется очень длительное время и полного самоочищения почв в зоне ММП практически не происходит [12], возникает вопрос о наиболее эффективном методе очистки северных почв от нефтяного загрязнения. Таким перспективным и эффективным способом является, на наш взгляд, биологический метод, так как микробиологическая составляющая вечной мерзлоты обладает уникальными адаптивными ресурсами, изучение свойств которых открывает возможность переноса ряда подобных свойств в сложную биологическую систему [13-15]. В этой связи актуален поиск микроорганизмов, не представляющих угрозы для жизни и здоровья современных биосистем и даже способных увеличить его структурный и энергетический потенциал [16, 17]. Такowymi могут быть микро-организмы, выделенные из ММП, обладающие уникальным биологическим потенциалом – способностью длительное время сохранять свою жизнеспособность в самых неблагоприятных условиях. Из известных самым распространенным и, на наш взгляд, наиболее перспективным для практического использования, являются бактерии, выделенные из ММП.

Всхожесть семян овса посевного (*Avena sativa* L.) в различных вариантах эксперимента представлена на рис. 2а, 3а, 4а соответственно. В эксперименте было установлено, что всхожесть семян овса посевного (*Avena sativa* L.), обработанных штаммами бактерий рода *Bacillus* и рода *Serratia*, во всех вариантах эксперимента в сравнении с чистым контролем была достоверно ($p < 0,05$) ниже, что вполне объяснимо, учитывая загрязнение почвы нефтепродуктами. В то же время на фоне нефтезагрязнения почв в концентрации 2%, 5%, 10% всхожесть семян обработанных штаммами В1М (загрязнение 2%, 5% и 10%), В3СН (загрязнение 2%) достоверно ($p < 0,05$) превышала контроль при проращивании необработанных бактериями семян на нефтезагрязненной почве (контроль нефть). Обработка семян штаммами В1Т и В2СН с последующим их проращиванием на нефтезагрязненной почве не повлияла на анализируемый показатель.

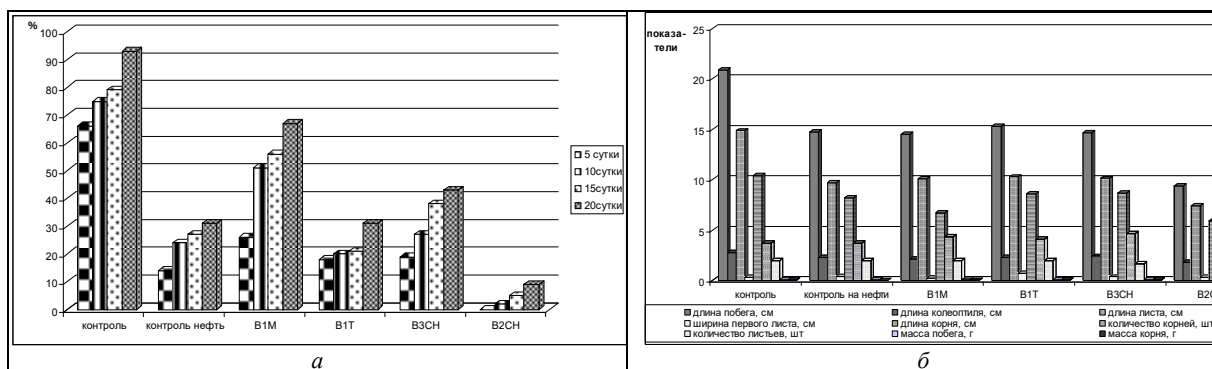


Рис. 2. Всхожесть семян (а) и морфофизиологические показатели (б) овса, обработанного штаммами бактерий с учетом контроля на загрязненной нефтепродуктами почве (концентрация загрязнения 2%)

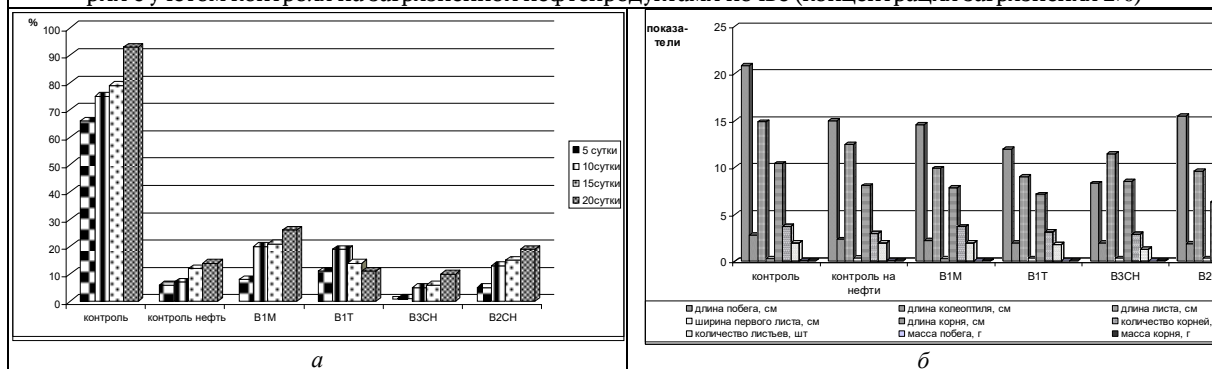


Рис. 3. Всхожесть семян (а) и морфофизиологические показатели (б) овса, обработанного штаммами бактерий с учетом контроля на загрязненной нефтепродуктами почве (концентрация загрязнения 5%)

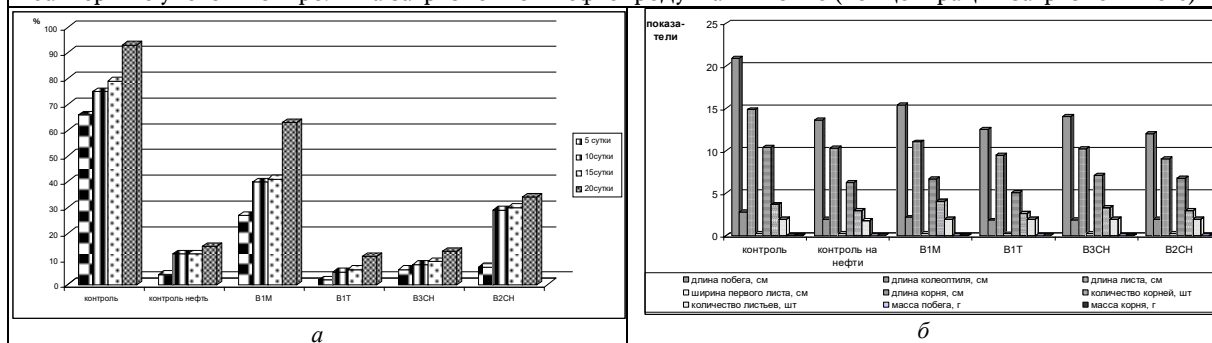


Рис. 4. Всхожесть семян (а) и морфофизиологические показатели (б) овса, обработанного штаммами бактерий с учетом контроля на загрязненной нефтепродуктами почве (концентрация загрязнения 10%)

При анализе морфофизиологических показателей овса посевного (рис. 26, 36, 46), обработанного штаммами бактерий рода *Bacillus* и рода *Serratia* выявлено, что у проростков овса под воздействием штамма B1M достоверно ($p < 0,05$) увеличиваются длина и масса побега, масса корней при загрязнении 10 % и количество корней при 5% загрязнении. При действии штамма B1T ($p < 0,05$) увеличены длина побега, масса корней, ширина первого листа при загрязнении 2%. В варианте со штаммом B2CH возрастает ($p < 0,05$) длина первого листа, длина и масса корней при 2% загрязнении; длина, масса и количество корней при загрязнении нефтепродуктами 10%. Более активное развитие надземной части растений указывает на то, что обработка штаммами бактерий влияет на выработку гиббереллинов, а увеличение массы корневой системы может быть обусловлено более высоким содержанием ауксинов, поэтому для дальнейшей разработки фито-

стимуляторов наиболее перспективными являются штаммы B1M, B2CH, B1T.

Анализ фотосинтетической системы растений, обработанных штаммами бактерий рода *Bacillus* и рода *Serratia* (табл. 2) показал, что под действием токсиканта наблюдается снижение содержания пигментов фотосинтеза. Показатель активности системы фотосинтеза (сумма пигментов фотосинтеза) у овса находится ниже уровня интактного контроля. Предпосевная обработка семян штаммами бактерий не оказывает значимого положительного влияния на этот показатель. Считается, что отношение хлорофилла а/б характеризует потенциальную фотохимическую активность листьев. Более высокая величина а/б относительно чистого контроля наблюдается во всех вариантах эксперимента, кроме со штаммами B1T (загрязнение 2% нефти) и B2CH (загрязнение 10% нефти), что свидетельствует об адаптации фотосинтетического аппарата к воздействию неблагоприятных факторов.

Таблица 2. Содержание пигментов фотосинтеза растений, обработанных штаммами бактерий, выделенных из ММП, выращенных на загрязненной нефтепродуктами почве с учетом контроля, мг/100 г

Варианты эксперимента	Загрязнение, %	хл а	хл b	k	хл а/хл b	(хл а+хл b)/ k	хл а+хл b+ k
контроль	0	62,04	47,44	41,40	1,31	2,64	150,88
контроль нефть	2	57,33	30,46	37,48	1,88	2,34	125,28
	5	62,59	32,09	41,74	1,95	2,27	136,42
	10	34,93	17,44	34,71	2,00	1,51	87,08
B1M	2	42,38	22,13	37,46	1,91	1,72	101,97
	5	41,78	20,65	38,73	2,02	1,61	101,15
	10	27,59	17,31	31,43	1,59	1,43	76,34
B1T	2	30,40	29,03	36,96	1,05	1,61	96,40
	5	39,29	17,45	33,63	2,25	1,69	90,36
	10	22,56	16,37	23,45	1,38	1,66	62,38
B3CH	2	48,59	22,03	40,11	2,21	1,76	110,73
	5	51,33	24,03	38,22	2,14	1,97	113,59
	10	19,15	9,86	22,06	1,94	1,31	51,06
B2CH	2	45,44	22,87	35,29	1,99	1,94	103,59
	5	38,07	17,88	33,00	2,13	1,70	88,95
	10	22,25	17,30	37,85	1,29	1,04	77,40

Примечание – хл а (хлорофилл а); хл b (хлорофилл b); k (каротиноиды)

В эксперименте отмечается отрицательное влияние нефтяного загрязнения на содержание каротиноидов, но в большинстве вариантов без резкого снижения данного показателя. Каротиноиды оказывают защитное действие, способствуют снижению перекисного окисления и тем самым характеризуют способность растений сопротивляться стрессу в условиях нефтяного загрязнения, но при наличии токсиканта данная система может угнетаться. В то же время, отношение суммы хлорофиллов а и b к каротиноидам (показатель способности растения сопротивляться стрессу) ниже значений в контроле с нефтью, (без обработки семян штаммами бактерий) следовательно, способность растений сопротивляться стрессу остаётся достаточно высокой.

Выводы: несмотря на многократное увеличение объемов рекультивации, проблема нефтяного загрязнения остается чрезвычайно острой. Существующие в настоящее время способы очистки нефтезагрязненных почв имеют недостатки, поэтому встает вопрос о создании новых биологических подходах по рекультивации нефтяного загрязнения. В качестве одного из направлений может быть использование комплексного подхода к рекультивации нефтяного загрязнения, включающего агротехнические мероприятия с последующей обработкой растений-рекультивантов микроорганизмами, выделенных из ММП, и имеющих хорошую адаптацию в условиях Субарктических и Арктических почв

(приживаемость) и оказывающих фитостимулирующее действие на растения-рекультиванты.

Обработка растений бактериальными препаратами может в некоторой степени нивелировать отрицательное действие токсиканта, достаточно активно влияя на морфометрические показатели растений за счёт выработки гиббереллинов и ауксинов, что в конечном итоге способствует увеличению биомассы растений, произрастающих на нефтезагрязнённой почве, а в последующем и на гумусообразование. Считаем перспективным разработку биопрепарата на основе микроорганизмов из ММП для проведения биологической рекультивации нефтезагрязненных земель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Мельников, В.П. Аспекты криософии: криоразнообразие в природе / В.П. Мельников, В.Б. Геннадиник, А.В. Брушков // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII, № 2. С. 3–11.
2. Мамаева, Н.Л. Экологические проблемы Арктической зоны Российской Федерации / Н.Л. Мамаева, С.А. Петров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. № 5. С. 148–152.
3. Мамаева, Н.Л. Естественная и антропогенная динамика мерзлотных почв в районах нефтегазодобычи Ямало-Ненецкого автономного округа / Н.Л. Мамаева, С.А. Петров // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2015. № 6. С. 99–104.
4. Мурзаков, Б.Г. Экологическая биотехнология для нефтегазового комплекса. – М.: Ленинские горы, 2005. 200 с.

5. Мельников, В.П. Криогенные риски арктических территорий / В.П. Мельников, Д.С. Дроздов // Арктика Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды междунар. конф. 2–5 июля 2015. – Тюмень: Изд-во «Эпоха», 2015. С. 243–246.
6. Прикладная экиобиотехнология. В 2 т. Т.2 / А.Е. Кузнецов и др. 2-е изд. – М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2012. 485 с.
7. Ананьева, Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. – М.: Наука, 2003. 223 с.
8. Войшко, В.В. Биодegradация нефтяных загрязнений / В.В. Войшко, Г.К. Крашенинникова, Г.Л. Смоляная / Под ред. И.М. Грачевой, Л.А. Ивановой. – М.: Изд-во НПО «Элевар», 2006. С. 327–366.
9. Об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре в 2013 г.: Доклад / Департамент экологии ХМАО-Югры. – Ханты-Мансийск: ООО «Печатное дело», 2014. 200 с.
10. ГОСТ Р 51858-2002. Нефть. Общие технические условия. Утв. Постановлением Госстандарта РФ от 08.01.2001 № 2-ст (ред. от 26.11.2009) [Электронный ресурс] / Консультант Плюс, Режим доступа: www.consultant.ru, свободный.
11. Morales, D.J. A simple model for non-destructive estimates of leaf in wheat / D.J. Morales, S.A. Gustavo // Cereal Res, Commun. 1991. № 4. PP. 439–444.
12. Мамаева, Н.Л. Проблемы экологии в нефтегазовой отрасли на Тюменском Севере / Н.Л. Мамаева, С.И. Квашина // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2011. № 5. С. 123–125.
13. Субботин, А.М. Особенности микробиоты четвертичных мерзлых толщ района Тарко-Сале (Север Западной Сибири) / А.М. Субботин, О.В. Рузова, В.В. Самсонова и др. // Фундаментальные наука и практика: Сборник научных трудов. Т. 1. – Томск, 2010. С. 148–150.
14. Калёнова, Л.Ф. Влияние малых доз микроорганизмов *Bacillus* sp. на дифференцировку и функциональную активность лимфоцитов / Л.Ф. Калёнова, А.М. Субботин, М.А. Новикова и др. // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20, № 3. С. 47–52.
15. Kalenova, L.F. Effects of permafrost microorganisms on skin wound reparation / L.F. Kalenova, M.A. Novikova, A.M. Subbotin // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2015. Vol. 158 (4). PP. 478–482.
16. Нарушко, М.В. Скрининг микроорганизмов выделенных из многолетнемерзлых пород, для повышения адаптивных показателей растений / М.В. Нарушко, Е.О. Симонова, А.М. Субботин // Инновации и наука: Труды участников 6-й междунар. науч.-практ. конф. 1–10 ноября 2014. – Египет, Хургада, 2014. С. 134–136.
17. Субботин, А.М. Отбор штаммов бактерий, выделенных из многолетнемерзлых пород, по влиянию на адаптивные показатели растений / А.М. Субботин, М.В. Нарушко, Е.О. Симонова // Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Сборник трудов междунар. конф. Под ред. В.П. Мельникова и Д.С. Дроздова. – Тюмень, Изд-во «Эпоха». 2015. С. 372–374.

CONTAMINATED LANDS OF CRYOLITHOZONE AND DEVELOPMENT THE METHODS OF ITS BIOLOGICAL REMEDIATION

© 2016 S.A. Petrov¹, A.M. Subbotin¹, N.L. Mamaeva^{1,2}, M.V. Narushko¹

¹Tyumen Scientific Center SB RAS, Tyumen

²Tyumen Industrial University, Tyumen

The paper presents one of the approach to biological remediation of oil-contaminated lands with the help of bacterial strains isolated from permafrost. It is shown that bacterial strains have a positive impact on the morphological and physiological plant parameters in terms of oil pollution.

Key words: *remediation, strain, bacteria, oil-contaminated lands, technogenesis*

Sergey Petrov, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Department “Bioresources of Cryosphere”. E-mail: tumiki@mail.ru

Andrey Subbotin, Candidate of Biology, Associate Professor, Leading Research Fellow at the Department “Bioresources of Cryosphere”. E-mail: subbotin.prion@yandex.ru

Natalia Mamaeva, Assistant at the Department “Technosphere Safety”. E-mail: mamaeva.natali2011@mail.ru

Maxim Narushko, Minor Research Fellow at the Department “Bioresources of Cryosphere”. E-mail: narushkomv@mail.ru