

На правах рукописи

Тыныбаева Татьяна Габбасовна

**Мониторинг загрязнения почв на газо-нефтяном
месторождении Северные Бузачи (Казахстан)**

Специальность 03.00.16 – экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
биологических наук

Москва - 2006

Работа выполнена в Международном учебно-научном биотехнологическом центре Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова

Научный руководитель:

доктор биологических наук,
профессор

Кураков А.В.

Официальные оппоненты:

доктор биологических наук

Котелевцев С.В.

доктор биологических наук,
профессор

Степанов А.Л.

Ведущее учреждение:

Российский университет дружбы народов

Защита диссертации состоится « 21 » декабря 2006 г. в 15 ч.30 мин. на заседании Диссертационного совета Д 501.001.55 в Московском государственном университете им.М.В.Ломоносова по адресу: 119992, г.Москва, Ленинские горы, МГУ им.М.В.Ломоносова, Биологический факультет, аудитория 389.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Биологического факультета МГУ им.М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан « ___ » ноября 2006 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании Диссертационного совета. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 119992, г.Москва, Ленинские горы, МГУ им.М.В.Ломоносова, Биологический факультет, Диссертационного совет Д 501.001.55

Ученый секретарь Диссертационного совета
кандидат биологических наук

Н.В.Карташева

Актуальность проблемы. В настоящее время ни один из нефтяных промыслов не относится к “безотходным” производствам. При современном уровне технологий от 1.0 до 16,5% нефти и продуктов ее переработки теряется при добыче, переработке и транспортировке. Величина мировых потерь сырой и товарной (обессоленной) нефти составляет $n \cdot 10^7$ т/год, из них 20% приходится на Мировой океан, остальные - на почвы и пресные воды (Клименко, 1987).

Контаминация почв нефтью - особый вид загрязнения, который приводит к глубокому изменению всех основных характеристик почвы - морфологических, физических, химических и биологических свойств. Это обуславливает потерю почвами плодородия и отторжению их из сельскохозяйственного землепользования, загрязнению углеводородами нефти и сопутствующими токсическими веществами сопредельных сред и негативному воздействию на живые организмы. Причины этого феномена связаны со сложным составом нефти, часто ее «залповым» поступлением в почвы, высокой подвижностью, способностью циркулировать между различными компонентами экосистем (включая биоту) и персистентностью.

В Западном Казахстане интенсивно эксплуатируются крупные месторождения нефти и газа. Рост добычи углеводородного сырья значительно осложнил экологическую ситуацию в этом регионе. На производственных площадях нефтепромыслов, вдоль линий нефтепроводов и транспортных коммуникаций, на участках разведочного и геофизического бурения широкое распространение получают антропогенно деградированные почвы. Они возникают из-за механических нарушений почвенного покрова, аварий на скважинах, повреждений и коррозии трубопроводов, прорывов карт с нефтешламом и буровыми отходами, загрязнений сточными водами и из-за выбросов токсичных соединений в атмосферу. В 70-е годы в Западном Казахстане было открыто крупное газо-нефтяное месторождение Северные Бузачи. Его обустройство и добыча нефти начаты в 1998-1999 гг. Месторождение располагается в депрессии Прикаспийской низменности (Большом соре), большую часть которой занимают солончаки соровые и типичные. Засоленность почв, близкое залегание грунтовых вод и экстремальные климатические условия и ряд других причин определяют высокую коррозионную опасность окружающей среды на нефтепромысле и сложность проведения мероприятий по рекультивации почв. Все это указывает, что контроль загрязнения почв и оценки изменений их химических и биологических свойств жизненно необходимо для работы месторождения.

Целью работы было проведение мониторинга содержания углеводородов нефти и тяжелых металлов в соровых солончаках и насыпных грунтах площадок с технологическим оборудованием на месторождении Северные Бузачи и характеристика их химических и микробиологических свойств.

Задачи исследования:

- 1) Мониторинг содержания углеводородов нефти в почвах на начальном этапе нефтедобычи (1998-2006 гг);
- 2) Мониторинг содержания тяжелых металлов в почвах в первые годы нефтедобычи;
- 3) Характеристика химических свойств нефтезагрязненных соровых солончаков и насыпных грунтов месторождения.

4) Оценка изменений микробиологических свойств и биотестирование соровых солончаков и насыпных грунтов месторождения при загрязнении нефтью.

Научная новизна. Впервые проведен мониторинг содержания углеводов нефти и тяжелых металлов в соровых солончаках и насыпных грунтах площадок с оборудованном месторождения, с первых лет нефтедобычи. Впервые изучены химические и микробиологические свойства нефтезагрязненных соровых солончаков: определены запасы основных биогенных элементов, численность разных групп микроорганизмов, пул биомассы бактерий и грибов, активность дыхания, азотфиксации, денитрификации и разложения целлюлозы. Установлено, что соровые солончаки и песчаные грунты характеризуются низкой активностью микробиологических процессов, невысокой интенсивностью утилизации вносимых субстратов и численностью бактерий (включая углеводородокисляющих), преобладанием в микробном пуле спор, а не мицелия грибов. Показано повышение количества копиотрофных и углеводородокисляющих бактерий и падение – актиномицетов, нитрификаторов и таксономического разнообразия стрептомицетов, микроскопических грибов в нефтезагрязненных (100-600 мг углеводов/кг) солончаках и грунтах, достоверно не менялось базальное дыхание и разнообразие потребляемых субстратов микробными сообществами солончаков. При таком уровне контаминации нефтью в почвах возрастало содержание общего углерода, азота и подвижного фосфора, а также потенциальная скорость эмиссии диоксида углерода, азотфиксации и денитрификации.

Практическая значимость. Дана оценка загрязнения углеводородами нефти, тяжелыми металлами (Zn, Cd, Pb, Co, Ni, V, Cu) и мышьяком почв и насыпных грунтов на территории месторождения. Наиболее высокий уровень загрязнения почв, превышающий ПДК или близкий к нему, выявлен для мышьяка, никеля, свинца и цинка.

Обнаружение в ходе мониторинга повышенного содержания нефти на определенных участках нефтепромысла для принятия решения по их технической рекультивации. Подавляющее большинство анализов свидетельствует об уровне контаминации почв нефтью ниже, чем ПДК. Однако необходимо помнить, что ситуация осложняется близким залеганием грунтовых вод в этом регионе, низкую нефтеемкость этих почв и самоочищающей способностью.

Биотестирование с использованием *Artemia salina* L. показало, что буровые отходы и нефтешлам представляют отходы 3-го класса опасности. Обнаружены участки земель 4-го класса опасности, что указывает на необходимость биотестирования почв газо-нефтяного месторождения. Проращение семян тест-растения *Lepidium sativum* L. в соровых солончаках и насыпных грунтах вне зависимости от содержания нефти подавлено, причиной чему является солевой токсикоз почв.

Результаты исследований используются в лекционном курсе по «Почвенной биотехнологии», читаемом на кафедре биологии МГУ им.М.В.Ломоносова.

Апробация работы. Результаты исследований были представлены на Научно-практическом совещании по токсикологии, (Астрахань, 2002), всероссийской конференции «Биоразнообразие и функционирование микробных сообществ водных и наземных систем Центральной Азии», (Улан-Удэ, 2003), Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы реабилитации техногенных экосистем», (Астрахань, 2004), Международной научной конференции «Антропогенная динамика природной среды» (Пермь, 2006).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ (2 статьи) и 4 тезисов в трудах международных научных конференций, 2 статьи приняты к опубликованию.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, __ глав, заключения и выводов, изложена на ___ страницах машинописного текста, содержит __ рисунков и __ таблиц. Список литературы включает ___ работ, из них ___ на иностранных языках.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения физико-химических и микробиологических анализов и определения содержания углеводов и тяжелых металлов на территории месторождения были выбраны площадки мониторинга. Их площадь составляла 10x10 м². С каждой площадки отбирали не менее 5 - 10 индивидуальных образцов. Отбор образцов проводился методом случайной выборки и готовили смешанный образец весом 0,6 - 0,8 кг. Индивидуальный образец отбирали с площади размером 10x10 см и глубины 0-15 см. Аналогичным образом отбирали образцы почв или грунтов на участках с видимым загрязнением нефтью.

В 1998 г, за год до начала добычи нефти, образцы почв отбирали в местах расположения скважин поискового бурения (W125, W161 и W170), проводившегося на территории месторождения в 1975-78 гг. и 100 м от них (W125/1, W161/1 и W 170/1). С 1999 г. отбор почв ежегодно осуществляли на площадках, расположенных в 20 метрах от устьев оценочно-эксплуатационных скважин после демонтажа бурового оборудования - NB1, NB2, NB3, NB4, в 2000 г - NB-S20, NB-S21, NB-S22, NB-S23 (А-6), NB-S25, NB-S26. В 2002-2006 гг. отбирали образцы сорového солончака на территории санитарно-защитной зоны, серо-бурой почвы в непосредственной близости с вахтовым городком, с площадок из привозного грунта, на которых расположено технологическое оборудование и скважины NB-8, 14, 53, 632, ЗУ-3, ЦНС и сорových солончаков, примыкающих к этим площадкам. Отбор почв проводился в соответствии с «Методическими рекомендациями по контролю загрязнения почв (часть 2). М.: Гидрометеиздат. 1984 г».

Валовое содержание азота, углерода и серы проводили на элементном анализаторе (VarioEL, Германия) при температуре 1150°C, подвижного фосфора и калия по Кирсанову, рН, аммония, нитратов, содержание водорастворимых солей,

емкость обменных катионов согласно рекомендуемым стандартным методам (Минеев, 2001).

Содержание углеводов нефти в почвах определяли путем экстракции их четыреххлористым углеродом на концентратометре КН-2 методом ИК-спектроскопии в области 3000-3420 нм (ПНДФ 16.1:22.22-98).

Концентрацию тяжелых металлов в почвах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на приборе 7500a ICP-MS фирмы Agilent Technologies. Навески почв (0,50 г) разлагали разбавленной 1:1 водой азотной кислотой в микроволновой печи Ethos D фирмы Milestone с сегментированным роторным автоклавом среднего давления MPR 600/12. Разложение проводили 30 минут при мощности микроволнового излучения 750 Вт и температуре 200 °С. После разложения остаток почвы переносили в мерную колбу емкостью 100 мл и доводили объем до метки 5% азотной кислотой (U. S. Environmental Protection Agency. 1994. Method 3051, 6020). Уровень загрязнения почв тяжелыми металлами и мышьяком оценивается в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.3.06-86 и ГН 2.1.7.020-94.

Микробиологическая характеристика сорных солончаков включала оценку методами посева численности КОЕ (колониеобразующих единиц) бактерий на различных средах с добавкой и без NaCl - рыбо-пептонном агаре (РПА), РПА, разбавленном 10-тикратно, голодном агаре, методом предельных разведений популяции нитрификаторов 2 фазы на среде Виноградского с нитритом. При оценке плотности популяций нефтеокисляющих микроорганизмов в почвах были использованы среды, в которых в качестве источников углерода использовали фенол (0,1%) или нефть (1-3%), а минеральная основа из среды Чапека, крахмального агара, на морской воде с дрожжевым экстрактом. Среды готовили в 2-х вариантах с добавкой хлорида натрия (3,5%) или на морской воде и водопроводной воде. Биомассу бактерий и грибов определяли методом люминесцентной микроскопии с акридином оранжевым и флюоресцеин диацетатом. Численность КОЕ, состав и относительное обилие грибов и актиномицетов в почвах определяли в посевах на сусло-агар и казеин-глицериновую среду, соответственно. Интенсивность потенциальной азотфиксации, денитрификации, базального и потенциального дыхания почвы определяли стандартными методами в лабораторных условиях на газовом хроматографе (Хром 3700/4) (Звягинцев, 1991).

Фототрофные микроорганизмы выявляли световой микроскопией свежих образцов солончаков и при накопительном культивировании на среде BG-11 (с добавкой и без NaCl) (Штина, 1990). Навески почвы (100 г) вносили в колбы с 1 л среды и инкубировали в условиях естественного освещения в течение 2-3 месяцев при температуре 25-35°С.

Интенсивность разложения целлюлозы путем инкубации полосок фильтровальной бумаги на поверхности почвенных пластинок при постоянной влажности (60% от полной влагоемкости (ПВ)) и 25°С.

Функциональное разнообразие микробных сообществ почв методом мультисубстратного тестирования с набором из 47 различных субстратов (Горленко, Кожевин, 2004).

Биотестирование для определения класса опасности почв, грунтов и отходов определяли по смертности жаброногих рачков артемий *Artemia salina* L. в водных экстрактах из образцов (ФР 1.39.2006.02 505). Фитотоксичность почв и грунтов по

проращению семян и росту проростков кресс-салата *Lepidium sativum* L. на поверхности почвенных пластинок при влажности 60% от ПВ и 25°C.

Обработку результатов проводили с использованием программы “Statistica 6”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Мониторинг загрязнения углеводородами нефти сорových солончаков и площадок насыпного грунта с оборудованием и грунтовых вод

При разработке и эксплуатации нефтяных месторождений, транспортировки углеводородного сырья практически невозможно избежать загрязнения почвенного покрова. Вместе с тем, значения ПДК для нефти и нефтепродуктов для почв окончательно не установлены. Согласно дополнению к перечню ПДК и ОДК №6229-91 минимальные ПДК нефти приняты для тундровых глеевых и тундровых болотных почв - 700 мг/кг, для почв пустынной зоны ПДК - 2000 мг/кг. Наиболее жесткие нормы установлены в «Методике исчисления размера ущерба, вызываемого захламливанием, загрязнением и деградацией земель на территории Москвы» (Приложение 8), утвержденные распоряжением мэра Москвы Ю.М.Лужковым от 27 июля 1999 г. №801-РМ, по которой допустимым считается содержание нефтепродуктов в почве, не превышающее 300 мг/кг (Курбатова, 2006). По результатам исследований в различных странах Герасимова М.И. с коллегами (2003) в учебном пособии “Антропогенные почвы (генезис, география, рекультивация)” (ред. Г.В.Добровольский) рекомендуют принимать максимальную безопасную концентрацию нефтепродуктов в почвах и грунтах - 1000 мг/кг. В данной работе для оценки уровня контаминации почв и грунтов месторождения нефтью рассматривали превышение концентрации 300 мг/кг как слабое загрязнение и 1000 мг/кг как высокое. Эти критерии наиболее жесткие из существующих в директивных руководствах и аналитических обзорах.

Содержание углеводородов нефти в сорových солончаках и насыпном грунте площадок с буровыми станками или другим оборудованием, заметно менялось в течение 8 лет работы месторождения.

Анализ данных ОВОС показал, что в первые 2 года разработки месторождения (1998 – 1999 гг.) концентрация нефти в почвах существенно не увеличилась (табл.1). За это время было пробурено только 4 скважины, интенсивную добычу нефти не начали. На территории месторождения проводили строительство дорог, площадок под отходы бурения и их переработки, вахтового городка и временного поселка для буровиков.

В 2000 году загрязнение нефтью почв и насыпных грунтов резко возросло (в среднем в 7-10 раз), что связано с расширением месторождения, началом интенсивного бурения и добычи нефти (пущено 34 скважины). Поступление углеводородов в почву происходило из-за аварийных потерь при перекачке нефти по трубопроводам, разливов при бурении, перемещении отходов бурения на полигон для временного складирования и переработки, выбросов в атмосферу при работе технологического оборудования и движении автотранспорта.

Повышенный уровень загрязнения почв сохранялся в солончаках и площадках с насыпным грунтом не менее 4-х лет - до 2004 г. На отдельных площадках с буровыми станками (скважина 165, NB-8, 632), с замерным устройством (ЗУ - 3) – высокое содержание нефти обнаружено и в 2005-2006 гг. Вместе с тем, с 2004 г. четко прослеживается снижение (в 2-5 раз) концентрации

углеводородов нефти в сорových солончаках и на площадках, где расположены скважины.

Таблица 1

Динамика содержания нефтяных углеводородов (мг/кг) в сорových солончаках и на площадках насыпного грунта без видимых признаков загрязнения (1998-2005 гг)

Номер площадки/год	Общее содержание углеводородов, мг/кг								
	1998	1999	2000	2001	2003	2004	2005, весна	2005, осень	2006
Скважина * (Скв.) А-6 ¹	**		200	210	400	-	170	40	
Скв. NB-2 ²	34	30	300	170	140		30	20	
ЦНС ³	10	30	300	230	530	30	50	30	110
Скв. NB-1	19,2	30	280		400	60	70	20	
Скв. NB-3*		30			30				
Соровый солончак и серо-бурая почва (СЗЗ ⁴)			10	40	30	30	20	35 (39 ^а)	50 ^б

¹ - 100 метров от скважины, ² - 100 метров от скважины, ³ - рядом с площадкой ЦНС, ⁴ - соровой солончак и серо-бурая почва рядом с дорогой на границе СЗЗ и ^а – рядом с вахтовым городком) и ^б – песчаная почва (саксауловая роща в СЗЗ в 2 км от месторождения) и чистый соровой солончак в 1 км от месторождения в СЗЗ) (контроль - (фонное содержание углеводородов нефти) ;

* - соровой солончак в 10-20 м от площадки со скважинами NB-632 -22 мг/кг (2001 г), 215 мг/кг (2005 г) 100 мг/кг (2006 г), NB-8 – 210 мг/кг (2001 г), 110 – 220 мг/кг (2006 г), ** - пустая клетка – в этой таблице и других – нет данных.

Существует несколько причин обнаруженного падения содержания углеводородов в почве и грунтах. Во-первых, это обусловлено проведением технической рекультивацией территории месторождения (снятие верхних горизонтов почвы на наиболее загрязненных участках и удаление его на полигоны и карты с нефтешламом и подсыпка чистого грунта). Загрязненный грунт и почвы использовали для строительства дорог (для подсыпки в смеси с чистым грунтом при поднятия полотна дороги). Во-вторых, определенная часть углеводородов мигрирует в грунтовые воды в период весеннего снеготаяния и подъема уровня грунтовых вод, который достигает поверхности земли, смыва в наиболее депрессивные участки рельефа. В 2004 и 2006 годах произошли наводнения на месторождении. Весенний уровень воды был на 20-40 см выше поверхности земли, и значительное количество нефти из почв и грунтов было удалено при их поверхностом смыве. В-третьих, в почве, весной до летней засухи и в осенний период до заморозков идут процессы микробного разложения нефтяных углеводородов. В сухой летний период удаление углеводородов из почвы связано с улетучиванием и химической деструкцией под воздействием ультрафиолетового облучения.

Загрязнение почв в небольшой мере связано с буровыми отходами, так как содержание в них углеводородов нефти относительно небольшое - 0,019% (190 мг/кг). Крайне высокую опасность представляет нефтешлам - концентрация углеводородов в его твердой массе – 11,6% (116,1 г/кг).

Поступление нефти в грунтовые воды территории месторождения подтверждается данными по оценке содержания в них углеводородов, фенолов и синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ) (табл. 2). На первом этапе мониторинга подземных вод (с 1999 по 2003 гг.) исследования были направлены на выявление их загрязнения от поверхностных источников, полигона для временного хранения отходов, расположенного за пределами основной территории месторождения. При дальнейшей разработке месторождения было пробурено 11 мониторинговых скважин (глубиной 4-6 м) в зонах повышенного риска.

Таблица 2

Уровень контаминации грунтовых вод месторождения углеводородами нефти, фенолами и синтетическими поверхностно-активными веществами*

Год отбора проб	Определяемые вещества, мг/л	СКВ.1	СКВ.3	СКВ.4	СКВ.5	СКВ.6
2001	Нефтяные углеводороды	1,3	3	3,4	2,7	4,1
	Фенолы	0,012	0,23	0,026	0,033	0,02
	СПАВ	1,4	0,5	1,6	0,6	0,3
2002	Нефтяные углеводороды	4,4	1,2	1,7	4,5	1,6
	Фенолы	0,024	0,018	0,019	0,03	0,015
	СПАВ	2,2	3,4	3,0	2,6	2,2
2003	Нефтяные углеводороды	7,0	4,7	4,4	2,0	3,1
	Фенолы	0,013	0,018	0,019	0,028	0,023
	СПАВ	0,68	0,47	1,38	0,43	0,12
2004	Нефтяные углеводороды	0,27	0,12	0,32	0,19	0,2
	Фенолы	0,014	0,033	0,03	0,036	0,008
	СПАВ	1,33	0,7	0,6	1,7	1,07
2005	Нефтяные углеводороды	1,74	0,73	0,84	3,27	0,39
	Фенолы	0,011	0,010	0,010	0,022	0,017
	СПАВ	0,32	0,11	0,32	0,26	0,33
2006	Нефтяные углеводороды	0,54	0,63	0,65	4,9	0,07
	Фенолы	0,014	0,015	0,01	0,017	0,016
	СПАВ	1,4	0,16	0,18	0,25	0,46

* - ПДК для углеводородов нефти - 0,3, фенолов - 0,0001 и СПАВ - 0,5 мг/л (ПДК для грунтовых вод - РНД 03.1.0.3.01-96)

Концентрация нефти, фенолов и СПАВ в грунтовых водах варьировала в течение 6 лет (с 2001 по 2006 гг.) в следующих диапазонах: углеводороды нефти – 0,02 - 16,6 (мг / дм³); фенолы – 0,009-0,036 (мг / дм³); СПАВ – 0,11 – 3,4 (мг / дм³). Уровень загрязнения грунтовых вод этими соединениями в большинстве случаев значительно превышает ПДК.

Рост содержания поллютантов в грунтовой воде происходил в период с 2001 по 2004 года – период интенсивной разработки и обустройства месторождения, в частности, углеводородов нефти с 1,3 (2001 г) до 7,0 -16,6 (2003 г) мг/дм³. Это

связано со строительством и обустройством технологических площадок, бурением новых скважин, сопровождающимся скоплением большого количества отходов – загрязненного грунта, нефтешлама и отходов бурения. Резкое изменение концентрации загрязняющих веществ в грунтовых водах связано и с такими природными явлениями как снеготаяние, ливневыми дождями и наводнениями в весенний период. Так, в результате крупного весеннего наводнения в 2004 году произошло смешивание грунтовых вод с дождевыми и талыми водами, и в них снизилась концентрация поллютантов. После 2004 году контаминация грунтовых вод нефтепродуктами не росла столь заметно как в 2001-2003 гг., а, напротив, отмечена некоторая стабилизация уровня их загрязненности (табл. 2).

Итак, с конца 2005 г по настоящее время содержание углеводородов в почвах без видимых загрязнений нефтью варьирует в среднем в диапазоне от 40 до 220 мг/кг. Такой уровень концентрации нефти только в 1,5-5 раза выше фонового и не превышает ПДК согласно различным директивным инструкциям. Для активно действующего месторождения можно считать такой уровень невысоким. В СЗЗ вблизи вахтового городка содержание углеводородов нефти в 2005 г. составляло в среднем 38,9 мг/кг, а в образцах верхних горизонтов сорového солончака и песчаной почвы, отобранных в 1 км от месторождения, в 2006 г., не более 50-120 мг/кг.

В тоже время, на территории нефтяных месторождений неизбежно в результате аварий, протечек или других нарушений технологии возникают участки с повышенным загрязнением углеводородами (табл. 3). Они установлены в зоне, примыкающей к полигонам для складирования и переработки отходов бурения, непосредственной близости к нефтедобывающим скважинам, на площадках сбора, хранения и транспортирования нефти с месторождения (Центральной насосной станции), местах фланцевых соединений, расположения запорно-регулирующей аппаратуры и замерных установок на трубопроводах. Наиболее сильное загрязнение сорového солончака выявлено в непосредственной близости к площадке хранения и переработки отходов бурения: содержание углеводородов достигало 7480 мг/кг почвы (2003 г.) и рядом со скважиной 165 с действующим грифоном – 68070 мг/кг (2006 г.). Высокий уровень контаминации почв был обнаружен в 2000 г. около разведочной скважины А-11 – 5000 мг/кг и автозаправочной станции, расположенной в 100 м от вахтового городка - 1000 мг/кг, на площадках старой разведочной скважины в 10 метрах от устья – 7100 мг/кг и Центральной насосной станции (ЦНС) - 778 мг/кг, в 2006 г – на площадке насыпного грунта скважины NB-632 – 3410 мг/кг, в насыпном грунте площадки с замерным устройством (ЗУ-3) – 9020 мг/кг и рядом расположенного участка сорového солончака – 7800 мг/кг (табл. 3).

При обнаружении высоких концентраций углеводородов нефти в почве проводилась техническая рекультивация этой территории. В случае превышения содержания нефти в почве уровня ПДК удаляли ее верхний слой (0-10 см) и проводили подсыпку чистого грунта. Нефтезагрязненный слой почвы складировали на площадках сбора отходов, а в дальнейшем смешивали с чистым грунтом и использовали при строительстве для поднятия полотна дорог. При более низком уровне загрязнения на этих участках осуществляли только подсыпку грунта по поверхности.

Таблица 3

Максимальные уровни загрязнения нефтью сорového солончака и насыпного грунта площадок с оборудованием, обнаруженные при проведении мониторинга на месторождения Северные Бузачи и время технической рекультивации этих участков

Расположение загрязненных участков	Время проведения анализа почв, год	Концентрация нефти, мг/кг
На площадке*** скважины NB-2	2001	460
	2004-2005*	20-90
На площадке ЦНС	1998	778**
	2001*	230
Площадка разведочной скважины (10 м от устья)	2003	7100
В 300 м на юг от площадки временного складирования и переработки отходов бурения	1999	10
	2000	680
	2001*	280
	2003	7480**
	2004*	350
	2005*	20-40
На площадке скважины NB-1	1998	272
	1999*	50
	2001	400
	2002-2004*	60
	2005	20-70
На расстоянии 30 м от площадки скважины А-11	2000	5000
Пятно разлива нефтепродуктов у автозаправочной станции	2000	1000
Площадка скважины NB-8	2006****	15350
Площадка скважины NB-53	2006	680
Площадка скважины NB-632	2006	3410
Площадка ЗУ-3	2006	9020
Соровый солончак рядом с площадкой ЗУ-3		7800
Соровый солончак у скважины 165	2006	68070

* - после проведения технической рекультивации – удаление верхних наиболее загрязненных горизонтов сорového солончака и подсыпки грунта; ** - на нефтяном пятне; *** - площадки представляют насыпной песчано-суглинистый засоленный грунт из карьера; **** - анализы проведены 20.10.2006.

Итак, за период мониторинга с 1998 по 2006 гг. концентрация нефти в сорovém солончаке на площадках без видимых признаков загрязнения не превышала уровень ПДК (1000 мг/кг). Рост загрязненности почв нефтью произошел в период начала активного бурения и добычи нефти на месторождении (в 2000-2003 гг.). Содержание углеводородов увеличилось на порядок по сравнению с фоновым, но оставалось в 1,5-3 раза ниже уровня ПДК. Если использовать более жесткие нормативы для оценки степени загрязнения почв нефтью (ПДК = 300 мг/кг), то тогда можно констатировать высокий уровень

контаминации почв и грунтов в 2003 г. В последние годы (2004-2006 гг.) отмечено снижение концентрации углеводородов нефти в сорowych солончаках и грунтах на площадках мониторинга. Обнаружение участков почвы или грунта с высоким содержанием нефти (например, в 2006 г в насыпном грунте площадки скважины NB-8 - 1,5% и ЗУ-3 - 0,9% нефти и ряде других мест является основанием для незамедлительного проведения там технической рекультивации.

подавляющее большинство анализов свидетельствует, что уровень контаминации почв нефтью ниже, чем ПДК. Важно, однако, подчеркнуть, что величина ПДК для засоленных почв, с близким залеганием грунтовых вод не разработаны и явно должны быть ниже, чем для типичных почв зонального ряда. На месторождении планируется бурение новых скважин и их число в ближайшие годы составит 480, а уровень добычи достигнет в 2011 году 3,5 млн. тонн нефти в год, актуальность мониторинга загрязнения углеводородами нефти почв в этом регионе будет только возрастать. Необходимым элементом такого мониторинга должен стать также контроль за уровнем бенз(а)пирена и общего содержания полиароматических соединений в почвах.

Мониторинг загрязнения тяжелыми металлами сорowych солончаков и насыпных грунтов площадок с оборудованием

Сорowych солончаки до начала активной разработки месторождения имели невысокое содержание меди, более чем в 5-10 раз ниже уровня ПДК. Количество свинца в этих почвах было в среднем в 3 раза меньше ПДК принятых для песчаных почв и 10 крат ниже ПДК для суглинистых кислых и глинистых почв с рН близким к нейтральному (табл. 4). Валовое содержание ванадия в сорowych солончаках месторождения в 5 раз ниже ПДК, но характеризуются повышенным уровнем содержания цинка, который близок к ПДК для песчаных почв. Наиболее высок уровень валового содержания никеля в почвах месторождения, который превышает ПДК для песчаных почв и приближается к ПДК для глинистых почв. Регион характеризуется высоким содержанием мышьяка, в 1,3-2,2 раза больше ПДК для песчаных почв. Повышенное количество мышьяка объясняют природной аномалией, составом подстилающих пород и длительной аккумуляции данного элемента в бессточной депрессии сора.

Итак, к началу активной разработки сорowych солончаки территории месторождения Северные Бузачи характеризовались повышенным содержанием мышьяка, никеля и кадмия, превышающим или близким к ПДК для почв.

Содержание тяжелых металлов в почвах и грунтах площадок возросло в течение 2001-2006 гг. в среднем в 1,5-3 раза (табл. 5). Для свинца, меди и цинка достигнутая концентрация не превысила ПДК для глинистых и суглинистых почв, но на отдельных площадках достигла ПДК для песчаных почв. Исключение составляет никель, содержание которого на ряде площадок достигало ПДК для суглинистых и глинистых почв (на площадке ЦНС - 82 мг/кг, скважин NB-1 и NB-2 - 79 и 74 мг/кг). Это связано с тем, что содержание никеля в почвах до начала разработки месторождения, было уже очень высоким. В большинстве случаев за последние 5 лет не отмечено значительного возрастания концентрации кобальта. Изменение его уровня в почвах за весь период работы месторождения трудно оценить в связи с недостатком измерений в 1998-2000 гг., но по имеющимся данным также можно констатировать увеличение его концентрации в почвах в 2-3 раза. Содержание свинца превысило ПДК для песчаных почв в районе площадки

отходов бурения (49 мг/кг в 2001 году). С 2003 года его концентрация остается стабильной на уровне нижней границы ПДК.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в сорových солончаках до начала разработки месторождения (мг/кг в.-с. почвы)

Поллютант	Расположение площадок (год)		ПДК	
	W125, 161, 171, 125/1, 161/1, 171/1 (1998 год)	(1999 год)	Песчаные и супесчаные	Глинистые и суглинистые pH КСІ > 5.5
Свинец, Pb	7-16	5-23 (12)*	32	130
Медь, Cu	8-17	6-11 (8)*	33	132
Цинк, Zn	22-43	12-22 (16)*	55	220
Никель, Ni	28-44	17-74 (32)*	20	80
Кадмий, Cd	<1,0	1,6-3,3(2)*	0,5	2
Мышьяк, As	1,6-3,8	2,2-3,5 (3)*	2	10
Ванадий, V	30	25-39 (32)*	150**	

*- среднее значение содержания металлов в образцах, ** - валовое содержание ванадия.

Очень высокое содержание кадмия в почвах, которое более чем на порядок превышает ПДК для этого элемента, обнаружено в 2001 году. Последующие анализы (2003, 2005 и 2006 гг) однако показали, что его уровень в грунтах площадок и сорových солончаках не столь высок, хотя также превышает фоновое содержание в почвах в 1,5-2,5 раза (близко к ПДК для песчаных почв).

Содержание ванадия в почвах ниже ПДК в 5 раз. Повышение его концентрации (в 2 раза) по сравнению с фоновыми значениями обнаружено у скважины NB – 8, 14 и 53. На других площадках (NB – 632 и ЗУ-3) его количество в почве заметно не изменилось. Содержание мышьяка в грунтах площадок и солончаков возросло (в 2,5-5 раз) за период эксплуатации месторождения и превышает в настоящее время ПДК для песчаных почв в 5-9 раз и для глинистых достигло или выше ПДК в 1,8 раза (табл. 5). Фоновое содержание мышьяка в почвах СЗЗ месторождения приближается к ПДК для глинистых почв (табл. 6).

Загрязнение почв и грунтов месторождения тяжелыми металлами обусловлено их высоким содержанием в нефти, нефтешламе и буровых отходах (табл. 7). Так содержание никеля, меди, цинка, мышьяка, кадмия, свинца в нефтешламе и, особенно, в буровых отходах в подавляющем большинстве случаев выше, чем ПДК для песчаных почв или даже глинистых почв. Нефть месторождения Северные Бузачи, в отличие от других промыслов, характеризуется высоким содержанием ванадия и никеля.

Таким образом, в результате проведения мониторинга почв месторождения (1998-2006 гг.) обнаружено повышение содержания свинца, меди, цинка, кадмия, ванадия и никеля - в 1,5-3 раза, мышьяка от 2,5 до 5 крат. Это обусловлено наличием тяжелых металлов в составе нефти, нефтешламе и буровых отходах и их выбросами в атмосферу при сжигании нефти и нефтепродуктов и работе транспорта.

Таблица 5

Содержание тяжелых металлов в сорových солончаках (мг/кг) и насыпных грунтах на площадках без видимых признаков загрязнения (1998-2006 гг.)

Расположение загрязненных участков	Время анализа	Pb	Cu	Co	Zn	Cd	Ni
		валовое содержание, мг/кг в.-с. почвы					
Центр скопления скважин – скважина А-6	2000	3					37
	2001	31	11	2	37	7	-
	2004	33	16	10	26		40
	2005 весна	28	12	14	35		26
	2005 осень	25		15	16		27
Площадка скважины NB-2	1998	10	13		35	<1	36
	2003	36	35		42	<0,5	74
	2004	33	13	11	30		36
	2005 весна	28	12	12	36		25
	2005 осень	25	7	13	26		23
Площадка ЗУ-3	1998	8	10		28	<1	32
	2003	30	16		30		
	2006	5,3	10,2		26,8	0,2	24,7
Площадка центральной насосной станции - ЦНС	1998	7	15		25	<1	31
	2001	29	14	17	40	6	40
	2003	22	29		40	<5	82
	2004	33	14	12	18		36
	2005 весна	28	12	14	35		24
	2005 осень	27	7	15	27		25
Площадка скважины NB-1	1998	12	16		32	<1	36
	2001	10	30	14	37		35
	2003	30	33		42	<0,5	79
	2004	31	18	11	26		40
	2005 весна	28	13	13	36		26
	2005 осень	25		14	21		24
Площадка на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ)	2001	29	8	17	34	6	31
	2004 осень	34	14	12	29		39
	2005 весна	31	16	13	35		27
	2005 осень	24		14	14		28
В 300 м от площадки временного складирования и переработки отходов бурения	2000	7	18	21	40		
	2001	49	10	19	19	8	38
	2003	26	15		33		
	2004	38	12	14	25		33
	2005 весна	30	9	15	29		27
	2005 осень	15	14	10	41	0,2	8
Площадка скважины NB-632	2005	7,3	13	11	21	0,2	10,5
Соровый солончак у скважины NB -53	2005	7,2	22	11	37	0,3	20
	2006	12,5	22,8		53,0	0,3	42,5
Площадка скважины NB -53	2006	23,7	14,2		33,2	0,5	32,7
Площадка скважины NB -14	2005	12	27	17	44	0,3	21
Серо-бурая почва** (в СЗЗ в 100 м от вахтового городка)	2005	6	12	10	28	0,2	9
Соровый солончак** (в СЗЗ в 1 км от месторождения)	2006	5,3	9,5		19,4	0,2	21,2

* - пустая клетка - нет данных; ** - контрольные (фоновые) уровни содержания тяжелых металлов.

Таблица 6

Содержание ванадия и мышьяка в почвах (мг/кг) и насыпных грунтах площадок с буровыми станками без видимых признаков загрязнения

Вариант	Год	Соровый солончак или насыпной грунт у скважины					Санитарно-защитная зона (СЗЗ)	
		ЗУ-3	NB-8	NB - 632	NB -53	NB - 14	Соровый солончак	Серо-бурая почва
Ванадий	2005			26*	31*	66*	35*	32
	2006	36**	72* (44**)		53* (73**)		26*	
Мышьяк	2005			5*		10*	9*	7
	2006	7	9* (18**)		10* (17**)		7*	

* - соровый солончак, ** - насыпной грунт, пустая клетка – нет данных.

Таблица 7

Содержание тяжелых металлов и мышьяка в нефтешламе и буровых отходах

Вид отходов	Валовое содержание, мг/кг						
	V	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Нефтешлам	71,92	37,29	84,28	129,20	22,84	0,38	93,40
Буровые отходы	56,73	34,06	124,20	45,65	19,68	1,37	36,77

В отличие от углеводородов, содержание тяжелых металлов в почвах и грунтах растет ежегодно более медленно. Но в тоже время опасность от них не меньше, так как они не подвержены как органические соединения микробной деградации, и понизить концентрацию тяжелых металлов в почвах и грунтах можно только за счет их удаления с территории месторождения.

Все это требует постоянного мониторинга содержания тяжелых металлов в почвах и насыпных грунтах площадок на месторождении и в прилегающих землях и проведения технической рекультивации участков с их повышенным содержанием.

Физико-химические свойства нефтезагрязненных сорových солончаков и насыпных грунтов

Соровые солончаки на территории месторождения имеют суглинистый и супесчаный механический состав, в котором преобладают (около 60-70%) мелко-среднезернистые фракции размерностью 0,05-0,25 мм. В местах окаймления депрессии песчаными и супесчаными гривами, в результате заносов они приобретают более легкий гранулометрический состав (ОВОС, 2000-2005).

В связи с близким залеганием грунтовых вод влажность почвы (за исключением небольшого верхнего слоя в несколько см) на глубине более 10-20 см высокая – 20-65%. Солончаки характеризуются бесструктурным сложением, с

поверхностной соляной коркой (5 см). Мощность профиля небольшая – 40-50 см. Нефтеемкость солончаков и грунтов низкая – порядка 100 г/кг.

В проанализированных нами образцах сорových солончаках содержание водорастворимых солей варьировало в диапазоне от 0,8 до 5,8%, в отдельных случаях до 10%, в насыпных песчано-суглинистых грунтах площадок, на которых располагается технологическое оборудование – 2%, в нефтешламе – 0,3%, буровых отходах -2,04% (табл. 8).

Таблица 8

Содержание главных биофильных элементов в нефтезагрязненных сорových солончаках, насыпных грунтах, отходах бурения и нефтешламе (2006 г.)

Место отбора и характер образца	Содержание углеводов нефти, мг/кг	Валовое содержание, %			мг/кг (по Кирсанову)	
		C	N	S	P	K
Зу-3 (площадка, грунт)	7800	6,669	0,035	2,038	187	449
NВ-53 (соровой солончак)		4,422	0,020	2,869	198	78,2
NВ-53 (площадка, грунт)	680	6,707	0,025	0,501	223	398
NВ-632 (соровой солончак)	100	5,165	0,069	1,926		
NВ-632 (площадка, грунт)	3410	5,798	0,017	0,725		
NВ-8 (соровой солончак)	110	3,131	0,053	4,865	198	79,9
NВ-8 (площадка, грунт)					219	277
Скважина 165 (соровой солончак)	68070	6,0	0,030			
Нефтешлам	116100	8,387	0,040	2,137	247	580
Отходы бурения	190	5,165	0,159	5,352	222	370
Корково-пухлый солончак (в СЗЗ)	120	2,935	0,020	2,205		
Соровой солончак (в СЗЗ, 1 км от месторождения)	50	2,069	0,007	1,046	122	291

Засоление имеет хлоридно-сульфатный характер, отношение Cl/SO_4 варьирует по профилю от 1 до 17, солевая корка на поверхности почвы на 98% состоит из NaCl. Содержание карбонатов также высокое – в поверхностных слоях - 1,8-9,6%, с глубиной их количество увеличивается до 8,3-9,5% (Фаизов, 1980; ОВОС, 2005). Количество легкорастворимых солей в верхнем горизонте заметно выше в осенний период, чем весной, что обусловлено выпотным режимом в этих почвах.

Сорových солончаки характеризуются нейтральным и щелочным рН, низкой гидролитической кислотностью (0,35-1,05 мг.экв /100г), невысокой емкостью обменных катионов (Ca+Mg, мг.экв/100 г – 23,2 – 38,2), большим содержанием аммонийного азота (2,6-10,5 мг $NH_4/100г$), чем нитратов (1,4-2,0 мг $NO_3/100г$). Сорových солончаки характеризуются низким содержанием гумуса (0,2-0,6%), валовых форм азота (0,007-0,020%) и фосфора (0,06-0,15%) (ОВОС, 2001-2005).

Нефтезагрязненные почвы и грунт характеризуются значительно более высоким содержанием общего углерода, азота, подвижного фосфора. Достоверного роста концентрации подвижного калия и общего содержания серы при загрязнении

почв нефтью не наблюдали, хотя тенденцию к увеличению их количества можно констатировать.

Микробиологическая характеристика нефтезагрязненных сорových солончаков и насыпных грунтов

Численность и биомасса бактерий и грибов. Общая численность бактерий в сорových солончаках, согласно прямой люминесцентной микроскопии с красителем акридином оранжевым, не превышала нескольких млрд. клеток в 1 г почвы (табл. 9).

Таблица 9

Жизнеспособная биомасса бактерий и грибов в загрязненных нефтью сорových солончаках* (2006 г)

Расположение площадок для отбора проб (2006 г)	Грибы		Бактерии	
	Количество спор, $\times 10^7$	Биомасса спор (мг/г)	Количество бактерий, $\times 10^8$ /г	Биомасса бактерий (мкг/г)
Соровый солончак (у скв. NB - 14)	$5,9 \pm 0,4$	$0,59 \pm 0,4$	$2,1 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,7$
Соровый солончак (у скв. NB - 53)	$6,6 \pm 0,5$	$0,66 \pm 0,5$	$5,9 \pm 0,4$	$11,8 \pm 0,8$
Соровый солончак (у скв. NB - 632)	$4,6 \pm 0,2$	$0,46 \pm 0,2$	$3,5 \pm 0,2$	$7,0 \pm 0,4$
Серо-бурая почва (С33 у вахтового городка)	$10,3 \pm 1,2$	$1,03 \pm 1,2$	$8,2 \pm 0,6$	$16,4 \pm 0,9$
Соровый солончак (С33 у карта с нефтешламом)	$3,6 \pm 0,7$	$0,36 \pm 0,7$	$3,8 \pm 0,9$	$7,6 \pm 1,8$

* - краситель флюоресцеин диацетат.

Достоверных различий в биомассе бактерий в образцах солончака с разным уровнем содержания нефти не отмечено; в частности, между образцами из санитарно-защитной зоны и отобранными с площадок со скважинами NB-8, NB-9, NB-12.

Аналогичный вывод можно сделать на основании определения жизнеспособной биомассы бактерий и микроскопических грибов (с красителем флюоресцеин диацетатом) в почвах. В сорových солончаках при невысоком уровне загрязнения биомасса этих групп микроорганизмов в большинстве случаев не различалась. Жизнеспособная биомасса грибов и бактерий была достоверно выше в незагрязненной нефтью серо-бурой почве (1046 мкг/г), по сравнению с сорowymi солончаками ($370-670$ мкг/г). Минимальные запасы жизнеспособной микробной биомассы установлены в образцах солончаков, отобранных в районе скважин NB - 14 и 53 и имеющих более высокое содержание нефти, чем в - NB - 632. Грибная

биомасса представлена преимущественно в виде спор, количество мицелия на порядки ниже (при микроскопии обнаруживаются только единичные гифы) (табл. 9). Это указывает, что жизнедеятельность грибов в этих почвах подавлена, что обусловлено их высокой засоленностью, крайне низким поступлением растительных субстратов и щелочной реакцией среды, которая более благоприятна для бактерий.

Численность бактерий, выделяющихся на богатой среде - РПА, была заметно выше в более загрязненных нефтью солончаках (170-210 мг/кг) и достигала нескольких млн. клеток КОЕ в 1 г почвы (табл. 10). При содержании нефти 10-30 мг/кг почвы численность КОЕ копитрофных бактерий была значительно ниже – в большинстве образцов десятки тысяч клеток в 1 г почвы.

Обнаружена довольно высокая численность олиготрофных бактерий в нефтезагрязненных сорových солончаках (достигает десятка млн. клеток в 1 г почвы) (табл. 11).

Таблица 10

Численность копитрофных бактерий в нефтезагрязненных сорových солончаках

Расположение площадок отбора проб	КОЕ x10 ⁵ /г в.с. почвы	
	РПА	РПА с NaCl
NB-9	65	75
NB-10	2	4,0
NB-14	0,2	0,2
NB-53	0,5	0,2
Скважина NB-632	1,3	0,2
СЗЗ у вахтового городка	0,2	0,4
СЗЗ в 300 м от площадки отходов бурения	0,4	4,6

* - коэффициент вариации данных 25-40%; РПА – рыбо-пептонный агар.

Таблица 11

Численность олиготрофных бактерий в нефтезагрязненных сорových солончаках

Расположение площадок отбора проб	КОЕ x10 ⁶ /г в.с. почвы			
	РПА/10	РПА/10 с NaCl	Голодный агар	Голодный агар с NaCl
Скважина NB-9	3,7	13,0	4,0	3,7
Скважина NB-10	13,0	10,0	4,5	

*- пустая клетка – рост не обнаружен; **- коэффициент вариации данных 25-40%

Сорových солончаки характеризуются очень низкой численностью КОЕ актиномицетов и микроскопических грибов (табл. 12). При загрязнении этих почв нефтью численность этих микроорганизмов, особенно актиномицетов, уменьшилась на 1-2 порядка и не превышала нескольких тысяч КОЕ/г.

Численность автотрофных нитрифицирующих бактерий. Численность нитрификаторов 2-ой фазы в нефтезагрязненных сорových солончаках была, в большинстве случаев, низкой и варьировала в диапазоне от сотен до тысяч клеток в 1 г (табл. 13).

В насыпных грунтах некоторых площадок, характеризующихся высоким содержанием нефти, они вообще не были обнаружены. В 2-х случаях - у скважины NB-10 и в 300 м от площадки отходов бурения их количество достигало нескольких тысяч клеток в 1 г. Введение хлорида натрия в состав среды во многих

случаях позволяло повысить количество выявляемых нитрификатов в сорových солончаках.

Таблица 12

Численность актиномицетов и микроскопических грибов в в нефтезагрязненных сорových солончаках и серо-бурой почве

Вариант	Актиномицеты, КОЕ/г почвы ($\times 10^3$)	Грибы, КОЕ/г почвы ($\times 10^3$)
Соровый солончак в 100 м от скв. NB-14	3,3	1,3
Соровый солончак в 100 м от скв. NB-53	2,9	0,7
Соровый солончак в 100 м от скв. NB-632	6,5	20,0
Серо-бурая почва (СЗЗ у вахтового городка)	14,5	6,9
Соровый солончак (СЗЗ в 300 м от площадки отходов бурения)	124,1	24,0

* - коэффициент вариации данных в среднем 30%.

Таблица 13

Численность углеводородокисляющих бактерий в загрязненном нефтью сорovém солончаке

Расположение площадок для отбора проб	КОЕ $\times 10^5$ /г в.с. почвы				
	Среда Чапека для УВО	Среда Чапека для УВО с NaCl	Крахмальный агар для УВО	Крахмальный агар для УВО с NaCl	МКД*, для УВО,
Соровый солончак (скважина NB-10)	-**	-	-	-	0,04
Скважина NB-14	0,06	0,03	0,03	0,004	-
Скважина NB-53	0,007	0,04	0,01	0,03	-
Скважина NB-632	0,03	0,02	0,01	0,001	-
Серо-бурая почва (СЗЗ в 300 м от площадки отходов бурения)	0,09	110	0,2	140	-
Серо-бурая почва (СЗЗ у вахтового городка)	4,8	1,1	0,03	0,2	-

* - в средах Чапека и крахмальном агаре, источник углерода (сахароза и крахмал) заменены на нефть (1%), в МКД – минеральная среда на основе морской водв с фенолом (0,1%) ** - нет данных.

Численность углеводородокисляющих бактерий. Численность нефтеокисляющих микроорганизмов в большинстве образцов сорových солончаков (NB-10, 14, 53, 632) варьировала от сотен до нескольких тысяч КОЕ/г почвы (табл. 13).

Максимальная плотность популяции углеводородокисляющих бактерий (от тысяч до десятков миллионов клеток в 1 г) обнаружена в серо-бурой почве (СЗЗ у вахтового городка) и в 300 м от площадки отходов бурения. Более высокая численность углеводородокисляющих бактерий согласуется с максимальной интенсивностью эмиссии диоксида углерода из этих почв.

Состав актиномицетов и грибов. В сорových солончаках среди актиномицетов наиболее обильно представлены стрептомицеты секции *Cinereus* серии *Achromogenes*, секции *Albus* серии *Albus* и секции *Helvoloflavus* серии *Helvolus* (табл. 14).

Таблица 14

Секционный состав и относительное обилие почвенных актиномицетов в нефтезагрязненных сорových солончаках

Вариант	Streptomyces (Секции/ Серии), %					Другие таксоны актиномицетов
	<i>Cinereus</i>		<i>Albus</i>		<i>Helvoloflavus</i>	
	<i>Achromogenes</i>	<i>Viobaceus</i>	<i>Albus</i>	<i>Albocoloratus</i>	<i>Helvolus</i>	
Соровый солончак в 100 м СКВ.NB-14					100	
Соровый солончак в 100 м СКВ.NB-53	38,5		46,5		9,5	6
Соровый солончак в 100 м СКВ.NB-632			27,5		72,5	
Соровый солончак (СЗЗ в 300 м от площадки хранения отходов бурения)	48	0,45	4		47,5	0,05
Серо-бурая почва (СЗЗ у вахтового городка)	70,5	7	2,5	7	13	

Загрязнение этих почв нефтью привело к снижению разнообразия актиномицетов рода *Streptomyces*. Из нефтезагрязненных почвах не были выделены стрептомицеты секции *Cinereus* серии *Viobaceus*, секции *Albus* серии *Albocoloratus*, но, одновременно, в них возросло обилие представителей секции *Albus* серии *Albus*, секции *Helvoloflavus* серии *Helvolus*.

В составе грибов в нефтезагрязненных сорových солончаках в посевах на питательные среды доминировали представители родов *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Paecilomyces* (*P. lilacinus*), *Fusarium*, *Penicillium* (секции *Biverticillata*) и виды, представленные темным стерильным мицелием. В микробных сообществах, развивающихся на внесенном на поверхность почв крахмале и целлюлозе (фильтровальной бумаге), наряду со стрептомицетами и бактериями (бациллами)

также обнаружен рост грибов родов *Aspergillus* (*A. ustus*), *Paecylomyces*, стерильного темного мицелия и *Stachybotrys alternans*.

Отмечено более высокое обилие *Cladosporium*, *Paecylomyces lilacinus* и вида, представленного стерильным темным мицелием в наиболее загрязненных нефтью образцах.

Состав фототрофных микроорганизмов. Фототрофные микроорганизмы не были обнаружены при прямой световой микроскопировании образцов сорового солончака. Согласно методу накопительных культур фототрофы нефтезагрязненных солончаков представлены цианобактериями *Anabaena spiroides*, *Anabaena flos-agnae*, *Aphanizomenon flos-agnae*, *Microcystis pulvereae*, *Microcystis grevillei*, *Microcystis aeruginosa* (отдел Cyanophyta) и одноклеточными зелеными водорослями - *Oocystis echinulata*, *Oocystis parva* (отдел Chlorophyta). Сообщества цианобактерий существенно различались в зависимости от площадки отбора образцов. Так в серо-бурой почве из санитарно-защитной зоны (у вахтового городка) в отличие от солончаков у скважины №632 обнаружены *Anabaena spiroides*, *Anabaena flosagnae*, *Aphanizomenon flosagnae*, но не выявлены *Microcystis aeruginosa*, *Microcystis pulvereae* и *Microcystis grevillei*. Виды *Oocystis echinulata*, *Microcystis pulvereae* встречались на обоих участках.

Активность выделения диоксида углерода. Соровые солончаки характеризуются крайне низкими уровнями не только базального дыхания, но и дыхания, индуцированного добавкой легкодоступного субстрата (глюкозы) (на несколько порядков ниже, чем, например дерново-подзолистая почва). Активность базального дыхания в ряде образцов соровых солончаков, как нефтезагрязненных, так и чистом, была следовой. Эмиссия диоксида углерода была более высокой из нефтезагрязненных грунтов, чем соровых солончаков, что, наиболее вероятно, связано с меньшей их засоленностью (табл. 15).

Повышение активности выделения диоксида углерода при внесении глюкозы в почвы было небольшим, часто вовсе не происходило. Это указывает, что почвенные микроорганизмы находятся в подавленном физиологическом состоянии и значительная их доля не адаптирована к условиям повышенной обеспеченности доступным субстратом и его внесение, по-видимому, приводила их гибели.

Функциональная активность микробных сообществ (мультисубстратное тестирование (МСТ)). Микробные сообщества соровых солончаков из санитарно-защитной и импактной зон характеризовались низким разнообразием и активностью потребления субстратов (в среднем 16-23 из 47 соединений, углеводов, аминокислот, спиртов и т.д.) При исследованном уровне загрязнения (содержание нефти около 200 мг/кг) они имели близкие интегральные показатели разнообразия и выравнивания спектров потребляемых субстратов (СПС) (Горленко, Кожевин, 2004)) (табл. 16). Кластерный анализ данных по интенсивности потребления субстратов методом Варда с расчетом квадрата евклидова расстояния показал, что, несмотря на четкое обособление СПС сообщества почв санитарно-защитной зоны, экспериментальные точки, представляющие нефтезагрязненные почвы и грунты, не образуют структурированной области в пространстве СПС. Это указывает о невысокой выраженности действия нефти при низком уровне загрязнения на СПС. Другой вывод, что небольшая контаминация почв санитарно-защитной зоны воздушным путем сглаживает отличия в СПС этих почв.

Активность базальной и потенциальной эмиссии диоксида углерода из почв и грунтов месторождения

Расположение площадок для отбора проб	мкмольСО ₂ /г*сут (10 ⁻³)	
	базальное дыхание	потенциальное дыхание (с внесением глюкозы)
Соровый солончак в 100 м от площадки ЦППН (ЦНС)	0,4	0,4
Соровый солончак в 100 м от площадки скважины NB-53	0,7	0,8
Соровый солончак в 100 м от площадки строящейся буровой вышки (монтажные работы)	следовая	0,4
Соровый солончак в 100 м от площадки скважины NB-8	0,5	0,5
Соровый солончак в 100 м от площадки скважины NB-2 (ЗУ-2)	0	0,5
Насыпной грунт в 2 м от ЗУ-3	1,3	2,7
Насыпной грунт в 2 м от скважины NB-8	0,5	2,7
Контрольный чистый сорový солончак в 1000 м от месторождения за пределами буровой	следовая	0,4

В то же время, существуют различия в перечне субстратов, активно потребляемых в почвах загрязненных нефтью и санитарно-защитной зоны. Дульцит, лейцин и раффиноза потребляются только микробными сообществами солончаков с повышенным содержанием нефти. Более высокая интенсивность потребления аланина и глутамина характерна для нефтезагрязненных почв, а ксилозы и треонина – для почв санитарно-защитной зоны. Можно констатировать, что при низком уровне загрязнения почвы меняется интенсивность потребления ограниченного числа субстратов.

Отдельные показатели функционирования микробных сообществ статистически значимо различаются в зависимости от концентрации нефти в почвах. Так, при возрастании концентрации нефтепродуктов с 30 (санитарно-защитная зона) до 170-210 мг/кг почвы наблюдается рост потребления глутамина и угнетение потребления сорбита. В связи с этим, представляется возможной дифференциальная диагностика уровня загрязнения почв нефтепродуктами по данным о потреблении этих субстратов по методу МСТ.

Интенсивность разложения целлюлозы. Полоски фильтровальной бумаги визуально практически не разрушились после инкубации их в течение 4 месяцев на поверхности солончаков при 25°С при постоянной влажности. На поверхности целлюлозных фильтров был установлен рост редких гиф грибов и микроколонии актиномицетов. Более заметно разложение целлюлозных полосках протекало в солончаках, имевших минимальное содержание солей. Степень их разрушения достигала 1-5 и 5-10% через 1,5 и 4 месяца. Значительно активнее фильтровальная

бумага разлагалась на поверхности серо-бурой почвы (СЗЗ у вахтового городка) – через 1,5 месяца степень ее разрушения достигла в среднем 30%, а к 4 месяцу превышала 50%.

Таблица 16

Разнообразие и выравненности спектров потребления субстратов микробными сообществами соровой солончак санитарно-защитной и импактной зон

Показатель	Санитарно-защитная зона	У скважины			
		NB-2	NB-8	NB-9	NB-12
Разнообразия Шеннона (H)	4,34	4,63	3,69	4,3	3,45
Выравненности Пиелу (S)	0,78	0,84	0,66	0,78	0,73

Активность азотфиксации и денитрификации. Процессы азотфиксации и денитрификации являются ключевыми при оценке поступления и потерь азота из почв природных экосистем. Соровые солончаки как фоновые (контрольные), так и нефтезагрязненные проявляют очень низкую активность азотфиксации, в сравнении с другими типами почв. Обнаружена крайне высокая вариабельность в интенсивности этого процесса в загрязненных почвах, причем выявлены образцы со сходной и существенно большей активностью азотфиксации, чем в контроле (табл. 17).

Таблица 17

Потенциальная активность азотфиксации и денитрификации в нефтезагрязненных сорových солончаках и насыпных грунтах (2006)

Площадки расположения отбора проб	Азотфиксация, (10^{-3}) мкг N ₂ /г час	Денитрификация, мкг N-N ₂ O/г час
Соровый солончак в 10 м от ЦНС	0,28	-
Соровый солончак в 10 м от скв. NB-53	3,08	1,3
Соровый солончак в 10 м от площадки строящейся буровой вышки	0,28	1,4
Соровый солончак в 10 м от скв. NB-8	23,24	1,5
Соровый солончак в 10 м от площадки скважины NB-2 (ЗУ-2)	67,2	1,1
Насыпной грунт в 2 м от ЗУ-3	884,8	4,1
Насыпной грунт в 2 м от скв. NB-8	0,56	1,3
Соровый солончак у скв. NB-14*		2,3
Соровый солончак у скв. NB-53*		0,3
Соровый солончак у скв. NB-632*		3,1
Серо-бурая почва (в СЗЗ в 300 м от шламоборника)*		5,2
Серо-бурая почва (в СЗЗ у вахтового городка)*		6,5
Незагрязненный соровой солончак (СЗЗ в 1000 м от месторождения)	0,22	0,7

Повышение азотфиксирующей активности объясняют тем, что ограничение доступа кислорода при загрязнении почвы нефтью оптимизирует условия для нитрогеназы и существованием бактерий, способных фиксировать азот атмосферы при использовании нефтяных углеводов в качестве единственного источника углеродного питания и энергии (Квасников, Ключникова, 1982; Исмаилов, 1988).

Активность денитрификации в нефтезагрязненных сорových солончаках в подавляющем большинстве случаев достоверно выше, чем в фоновом контрольном солончаке. В сравнении с серо-бурой почвой и песчаным грунтом технологических площадок интенсивность денитрификации в солончаках, как чистых, так и нефтезагрязненных, значительно ниже, что связано с высоким уровнем их засоления

Микробиологическая характеристика этих почв свидетельствует, о низкой численности копиотрофных и углеводородокисляющих бактерий, нитрификаторов 2 фазы и относительно большой плотности популяции олиготрофных бактерий. Эти почвы характеризуются невысокой активностью дыхания, азотфиксации, денитрификации и разложения целлюлозы. Отмечено повышение количества копиотрофных и нефтеразрушающих бактерий и падение нитрификаторов в наиболее загрязненных нефтью почвах, сходным было разнообразие потребляемых субстратов и уровнем базального дыхания у микробных сообществ. При загрязнении нефтью сорových солончаках состав актиномицетов и грибов упрощается, не происходит заметного роста пула микробной биомассы, который представлен в основном спорами грибов. Все это указывает на низкий самоочищающий потенциал от нефтяных загрязнений этих почв.

Оценка токсичности нефтезагрязненных сорových солончаков, грунтов, нефтешлама и буровых отходов

*Биотестирование с семянами кресс-салата *Lepidium sativum* L.* Почвы месторождения содержат повышенное содержание водорастворимых солей и, естественно, должны проявлять солевой токсикоз к растениям. Известно, что при внесении аммиачной селитры или хлорида калия, например, он проявляется по отношению к кресс-салату (к прорастанию его семян) в концентрациях более 1% в почвах (Кураков и др., 1989). Представляло важным определить изменились ли проявления солевого токсикоза в сорových солончаках при загрязнении нефтью, а также оценить фитотоксичность насыпных грунтов и почв разных типов и засоленности, расположенных в санитарно-защитной зоне. Эта информация имеет ценность при выборе почв и грунтов для рекультивации.

Установлено, что в независимости от содержания нефти прорастание семян тест-растения кресс-салата в сорových солончаках полностью подавлено (табл. 18). В образцах серо-бурой и песчаной почвы и наименее засоленных образцов солончака (0,6%) из санитарно-защитной зоны семена прорастали, но процент прорастания был значительно ниже (на 13-60%), чем в контроле (на бумажном фильтре). Рост проростков кресс-салата в них был также ингибирован, в сравнении с контролем. Главная причина фитотоксичности этих почв не контаминация нефтью (содержание ее в

большинстве образцов не столь невысоко – 50-200 мг/кг), а их засоленность (от 0,8-5,5%).

Таблица 18

Фитотоксичность нефтезагрязненных сорových солончаков
(тест-растение кресс-салат)

Места отбора образцов*	Проращение семян, %			Длина проростков, см	
	3 сут	5 сут	10 сут	3 сут	5 сут
Соровый солончак у скв. NB-2, NB-8, NB-14, NB-53, NB-632	0	0	0		
Площадка (грунт) скв. NB-8	0	0	0		
Площадка (грунт) скв. NB-8, NB-632, ЦНС, ЗУ-3	0	0	0		
Соровый солончак (незагрязненный – СЗЗ, в 1 км от месторождения)	0	0	0		
Солончак слабозасоленный (в СЗЗ у площадки отходов бурения)	0	5	30	-	0,5
Серо-бурая почва (в СЗЗ у вахтового городка)	30	75	75	1	5,5
Песчаная почва (в СЗЗ в саксауловой роще)	70	86	86	0,5	2,5
Контроль (водопроводная вода)	95	99	99	2,5	8

* - образцы отобраны в апреле и сентябре 2006 г.

Насыпной песчано-суглинистый грунт, который использовался для строительства площадок для буровых и другого технологического оборудования месторождения, также обладал высокой фитотоксичностью. Она выявлена и в образцах с низким содержанием нефти, т.е. была обусловлена их засоленностью. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования этого грунта только для технической рекультивации, подсыпки вместо удаленной загрязненной почвы.

Биотестирование на солетолерантных рачках Artemia salina L. Биотестирование показало, что нефтешлам и буровые отходы представляют собой отходы 3-го класса опасности (табл. 19). Образцы сорových солончаков и грунта, отобранных в санитарно-защитной зоне и у действующих скважин (NB-8) без видимых признаков загрязнения нефтью (220 мг/кг) не были токсичными для *Artemia salina L* (5 класс опасности). Вместе с тем, образцы с участка сорového солончака, расположенного рядом со скважины NB-632, также с невысоким содержанием углеводородов нефти (100 мг/кг) и сходным с солончаком у NB-8 уровнем контаминации тяжелых металлов, имели 4-го класса опасности. Это свидетельствует, что даже при контроле широкого круга токсичных соединений, необходимо биотестирование почв месторождений.

Определение класса опасности соровых солончаков, грунтов и отходов нефтедобычи при помощи тест-объектов *Artemia salina* L.

Вариант*	Разведение	Количество погибших особей, %	Класс опасности
NB-632 (соровый солончак)	1:1	56,7	4
	1:100	0	
	1:1000	0	
	1:10000	0	
Нефтешлам	1:1	96,7	3
	1:100	93,3	
	1:1000	0	
	1:10000	0	
Отходы бурения	1:1	100	3
	1:100	100	
	1:1000	0	
	1:10000	0	
NB-8 (соровый солончак)	1:1	0	5**
NB-8 (насыпной грунт)	1:1	0	5
Незагрязненный соровый солончак (СЗЗ в 1 км от месторождения)	1:1	0	5

* - образцы отобраны в сентябре 2006 г.; ** - 5 класс опасности – образец не токсичен.

ВЫВОДЫ

1. Впервые проведен мониторинг содержания углеводородов нефти и тяжелых металлов в почвах и грунтах с первых лет разработки газо-нефтяного месторождения, расположенного в пустынной зоне на соровых солончаках.
2. За период мониторинга с 1998 по 2006 гг. концентрация нефти в соровом солончаке и насыпных песчаных грунтах площадок с оборудованием, которые не имели видимых признаков загрязнения, не превышала ПДК = 1000 мг/кг. Загрязнение почв нефтью произошло в период начала активного бурения и добычи нефти (в 2000-2003 гг.). Содержание углеводородов увеличилось по сравнению с фоновым в 5-10 крат, до 200-600 мг/кг почвы/грунта. Согласно наиболее жестким нормативам (ПДК для городов 300 мг/кг) в 2003 на некоторых площадках произошло превышение допустимой концентрации нефти. В последующие годы (2004-2006 гг.) наблюдали снижение концентрации углеводородов нефти в соровых солончаках и грунтах. Высокий уровень контаминации грунтовых вод углеводородами нефти, фенолами и синтетическими поверхностно-активными веществами (> ПДК) уже с 2001 г. свидетельствует об их миграции из почв.

3. На месторождении периодически выявляются отдельные участки солончаков и грунтов с высоким содержанием нефти, что служит основанием для проведения на них технической рекультивации. Пять таких мест обнаружено нами при последнем (осень 2006) обследовании территории месторождения.

4. Мониторинг сорových солончаков и грунтов технологических площадок месторождения обнаружил повышение содержания свинца, меди, цинка, кобальта, кадмия, ванадия и никеля - в 1,5-3 раза, мышьяка от 2,5 до 5 крат за период с 1998 по 2005-2006 гг.. Это обусловлено наличием тяжелых металлов в нефти, нефтешламе и буровых отходах, а также выбросами в атмосферу при сжигании нефти и нефтепродуктов и работе автотранспорта. Ежегодное накопление тяжелых металлов и мышьяка в почвах и грунтах месторождения идет медленнее, но тенденция неуклонно положительная, в отличие от углеводородов. Концентрация цинка и свинца во многих почвах и насыпных грунтах в настоящее время сопоставима с уровнем ПДК для песчаных почв, для меди и ванадия она в 1,5-4 раза ниже ПДК. Наиболее опасного уровня загрязнение почв и грунтов достигло никелем и мышьяком, содержание которых исходно было высоким. Оно превышает ПДК как для песчаных почв, так и глинистых почв.

5. Сорových солончаки характеризуются нейтральным и щелочным рН (6,9-9,7), низкой гидролитической кислотностью, высоким содержанием водорастворимых солей (в среднем 2-4%). Впервые определены запасы основных биотрофных элементов в верхнем горизонте этих почв и их изменение в результате загрязнения нефтью. В нефтезагрязненных солончаках и песчаных грунтах возросло содержание общего углерода, азота и подвижного фосфора. Валовое содержание серы и калия в большинстве случаев достоверно не изменилось.

6. Впервые дана комплексная микробиологическая характеристика сорových солончаков. В этих почвах низкая численность копиотрофных и углеводородокисляющих бактерий (десятки-тысячи КОЕ/г), актиномицетов, грибов, нитрификаторов 2 фазы и фототрофных микроорганизмов при относительно большой плотности популяции олиготрофных бактерий (млн. КОЕ/г). Подавляющая часть (>90%) микробной биомассы в солончаках представлена покоящимися структурами грибов (спорами). Сорových солончаки и песчаные грунты характеризуются крайне невысокой активностью дыхания, азотфиксации, денитрификации и разложения целлюлозы. Установлено повышение количества копиотрофных и углеводородокисляющих бактерий и падение – актиномицетов, нитрификаторов и таксономического разнообразия стрептомицетов, микроскопических грибов при загрязнении почв нефтью. Потенциальная активность эмиссии диоксида углерода, азотфиксации и денитрификации возросла в нефтезагрязненных солончаках и грунтах (при содержании нефти 100-600 мг/кг). При исследованном уровне загрязнения (около 200 мг/кг) микробные сообщества почв имели близкие интегральные показатели разнообразия потребляемых субстратов и базального дыхания.

7. Биотестирование с использованием дафний *Artemia salina* L. показало, что буровые отходы и нефтешлам представляют отходы 3-го класса опасности. Образцы сорowych солончаков и грунта, отобранных в санитарно-защитной зоне и у действующих скважин не были токсичными для данного тест-организма. Однако обнаружены участки земель 4-го класса опасности, что указывает на необходимость биотестирования почв газо-нефтяного месторождения. Прорастание семян тест-растения *Lepidium sativum* L. в сорowych солончаках и насыпных грунтах вне зависимости от содержания нефти подавлено, причиной чему является солевой токсикоз почв.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Тыныбаева Т.Г. Микробиологический мониторинг нефтезагрязненных почв Казахстана // Экологическая токсикология: Подготовка специалистов-биотехнологов; Мониторинг и биологическая реабилитация загрязненных нефтью и нефтепродуктами территорий: Научно-практическое совещание, Астрахань, 30 сентября 2002, М.: МАКС Пресс, 2002, с.35
2. Тыныбаева Т.Г., Терехов А.С., Колотилова Н.Н. Характеристика микробных сообществ почв полуострова Бузачи // Материалы всероссийской конференции «Биоразнообразии и функционирование микробных сообществ водных и наземных систем Центральной Азии», г.Улан-Удэ, 21-29 июля 2003 г. с.204 .
3. Тыныбаева Т.Г., Держинская И.С. Особенности техногенных ландшафтов газонефтяного месторождения Северные Бузачи // Международная научно-практическая конференция «Проблемы и перспективы реабилитации техногенных экосистем», Астрахань, 2004г. М.: МАКС Пресс, 20 – 24 сентября 2004, с.139.
4. Тыныбаева Т.Г., Кураков А.В. Химические и микробиологические свойства загрязненных нефтью сорowych солончаков месторождения Северные Бузачи // Доклады Московского общества испытателей природы (МОИП), 2006, т.39, С.166-172.
5. Тыныбаева Т.Г., Ибатуллина И.З., Кураков А.В. Биотестирование токсичности сорowych солончаков, насыпных грунтов и отходов на газо-нефтяном месторождении Северные Бузачи (Казахстан) // Международная научная конференция «Современные проблемы загрязнения почв». Сборник тезисов. Ф-т почвоведения МГУ, Докучаевское об-во почвоведов. М. 2007.
6. Тыныбаева Т.Г., Кураков А.В. Мониторинг загрязнения почв и насыпных грунтов площадок с оборудованием на газо-нефтяном месторождении Северные Бузачи (Казахстан) // Доклады Московского общества испытателей природы (МОИП), 2007, т.40, С.50-60.
7. Кураков А.В., Тыныбаева Т.Г. Мониторинг загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком сорowych солончаков и насыпных грунтов площадок с оборудованием на газо-нефтяном месторождении Северные Бузачи (Казахстан) // Вестник МГУ, сер. почвоведение, 2006, (сдана в печать)
8. Тыныбаева Т.Г., Костина Н.В., Терехов А.М., Кураков А.В. Микробиологическая активность и токсичность нефтезагрязненных сорowych солончаков и грунтов площадок с оборудованием месторождении Северные Бузачи (Казахстан). Почвоведение, 2006, (сдана в печать)