

УДК: 504.5(282.247.11)

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЙМЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ДЕЛЬТЫ ПЕЧОРЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КУМЖИНСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (НЕНЕЦКИЙ АВТОНОМНЫЙ ОКРУГ)

© 2015 г. А.Н. Никонова

*Институт географии РАН, Москва, Россия
e-mail: an.ni.nikonova@gmail.com*

Поступила в редакцию 24.07.2014 г.

Приведены данные об основных локальных источниках загрязнения в дельте Печоры, естественном состоянии ее почв и растительного покрова, перечислены их морфологические изменения в результате механического и геохимического (загрязнения нефтепродуктами) воздействия после аварии 1987 г. на одной из буровых Кумжинского газоконденсатного месторождения. Описаны пространственная структура загрязнения нефтепродуктами и его последствия для эколого-геохимического состояния почв и донных отложений в зоне влияния аварии и функционировавших безаварийно скважин.

Ключевые слова: тундра, субарктическая пойма, аллювиальные почвы, углеводородное загрязнение, аварии на нефтегазовом промысле, растительность субарктической поймы, рекультивация земель.

Введение. Известна и описана в литературе уязвимость экосистем Арктики к антропогенным воздействиям и низкая способность после этого к самовосстановлению [2, 3, 15, 18]. Тем не менее, подавляющая часть добычи углеводородного сырья в России осуществляется в высоких широтах. Причем интенсивность его разведки и добычи в последние годы возрастает: все больше новых месторождений обустроиваются и вводятся в эксплуатацию и расширяются масштабы добычи на уже известных. По данным ЦДУ ТЭК, Россия в 2012 г. нарастила добычу нефти на 1.3% по сравнению с 2011 г. – до 518 млн т, в 2013 г. прирост составил 1% (до 523.27 млн т) [24]. Помимо этого северные регионы находятся в фокусе исследований, посвященных климатическим изменениям и их воздействию на природные и природно-антропогенные ландшафты [20, 23]. Мониторинг состояния последних имеет большую практическую и теоретическую значимость. Их изучение важно для прогнозирования поведения загрязнителей, темпов самовосстановления экосистем, а также оптимизации мер рекультивации нарушенных экосистем Арктики [2, 3, 18].

Эти факты являются предпосылкой к постановке разносторонних исследований воздействия добычи углеводородов на тундровые экосистемы.

Наиболее часто в их фокусе оказываются изменения в состоянии растительности, морфологических и физико-химических свойств почв и поверхностных вод. Основные направления изучения трансформации свойств тундровых почв под действием добычи углеводородов были выделены в работе Солнцевой Н.П. [15].

Многие авторы при оценке степени трансформированности природных экосистем, их потенциала к самовосстановлению опираются на результаты исследований животного и растительного мира. В частности, изучаются аккумуляция тяжелых металлов в растениях и мягких тканях рыб, изменения видового состава и пространственной структуры растительного покрова, а также изменения в сообществах водных и почвенных микроорганизмов [1, 7, 18]. Большая часть подобных исследований касается объектов, не испытывающих значительного воздействия удаленных от них источников загрязнения. В этом отношении работы в дельтах крупных рек представляют определенную методологическую сложность по причине того, что необходимо учитывать вклад расположенных выше по течению источников поступления поллютантов [22] и в целом динамичный интразональный характер растительности.

Другое направление работ в рассматриваемой области посвящено моделированию загрязнения тундровых почв нефтепродуктами на пробных площадках и в лабораторных условиях. Как правило, подобные исследования нацелены на проверку эффективности методов ремедиации, а также определение вклада различных факторов в самовосстановление почв.

Исследования *in situ* часто нацелены на изучение поведения загрязнителя со временем, при разовом и постоянном воздействии. Разработка месторождений в России за Полярным кругом ведется с конца 1960-х гг., и за прошедшее время стало ясно, что последствия аварий здесь могут быть заметны многие десятилетия, особенно при попадании углеводородов в водные объекты [21].

Изучаемый источник загрязняющего воздействия в районе Кумжинского газоконденсатного месторождения имеет уникальную историю: в течение семи лет было невозможно прекратить **выброс газоконденсата из аварийной скважины**, после чего она была **заглушена подземным ядерным взрывом**. Район исследований расположен в дельте крупной реки и **на границе областей распространения многолетнемерзлых пород**, что делает полученные результаты исследований еще более ценными для практики биогеохимического изучения загрязнений углеводородами тундр.

Цель работы – изучить пространственное распределение нефтепродуктов в почвах и донных отложениях на безаварийном и аварийном участках Кумжинского газоконденсатного месторождения, оценить эколого-геохимическое состояние экосистем и дать практические рекомендации по мониторингу и рекультивации нарушенных экосистем. Для этого решались следующие задачи:

1) выявление и инвентаризация основных источников загрязнения экосистем в зоне влияния Кумжинского газоконденсатного месторождения, определение их геохимической специализации;

2) выявление основных морфологических результатов механических и геохимических воздействий на почвенно-растительный покров и рельеф в районе месторождения;

3) определение геохимических параметров фоновых и ландшафтов пойменного и тундрового комплексов дельты Печоры;

4) анализ пространственной структуры загрязнения нефтепродуктами депонирующих компонентов среды на аварийном участке месторождения и их следствий (перестройки щелочно-кислотных условий, свойств поглощающего ком-

плекса и др.), выявление ландшафтных факторов, контролирующих их накопление;

5) оценка эколого-геохимического состояния почв и донных отложений, путем сопоставления концентрации нефтепродуктов с существующими санитарно-гигиеническими нормативами;

6) обосновать возможности использования полученных данных для оптимизации рекультивационных работ в схожих условиях.

Физико-географические условия района исследований. Район исследований расположен за полярным кругом, в дельте реки Печоры. В разных горизонтах чехла Печорской впадины – от силура до триаса – обнаружен и частично эксплуатируется ряд нефтяных месторождений (Вуктыл и др.), а в каменноугольных и пермских – также и газовых, как правило, приуроченных к локальным структурам [7]. Чередование оледенений и морских трансгрессий в четвертичное время привело к различию отложений, как по происхождению, так и по литологическому составу [12]. Ледниково-морские отложения среднего и верхнего плейстоцена распространены очень широко и представлены плотными песчанистыми алевритами с включениями гравия, гальки и валунов.

Морские отложения голоценового возраста распространены на мелководном шельфе (о-в Ловецкий) и представлены мелкозернистыми и пылеватыми песками с примесью алеврита и пелита желтовато-серого цвета. Мощность этих отложений в пределах Печорского шельфа не более 7 м. Морские отложения встречаются южнее, что указывает на трансгрессии моря.

Наиболее распространенными на территории Ненецкого заповедника являются аллювиальные отложения голоценового возраста. Они развиты по долинам всех рек и ручьев и представлены преимущественно осадками низкой и высокой пойм. Аллювий мощностью 0.5–1.5 м сложен песками, легкими супесями и суглинками. Многолетнемерзлые породы встречаются эпизодически на останцах террас. Река Печора имеет смешанное питание с преобладанием снегового (до 75%), для нее характерно длительное весенне-летнее половодье, во время которого среднемесячный расход воды может составлять до 12000 м³/с [6]. В межень расход воды сильно снижается. Ледостав начинается в конце октября и может длиться до 7 месяцев. Среднегодовой расход воды р. Печоры составляет 4100 м³/с.

Средняя годовая температура воздуха по всей территории отрицательная: –3 – –6 °С. Сумма средних суточных температур воздуха выше 0 °С

составляет от 7520 (Ходовариха) до 11420 (Нарьян-Мар). Атмосферные осадки также распределены неравномерно. Их среднее количество в год составляет 450–500 мм. Из них только 30–40% приходятся на зимний период.

По почвенно-географическому районированию территория относится к Канинско-Печорской провинции тундровоглеевых, болотно-тундровых и болотно-мерзлотных почв [8]. Процесс почвообразования протекает под влиянием вечной мерзлоты, которая служит водоупором, малого поступления тепла, короткого периода с положительными среднемесячными температурами, постоянного внутрпочвенного переувлажнения.

В целом необходимо отметить большую пестроту почвенного покрова и его пространственную неоднородность, что характерно для всех тундровых ландшафтов. Существенные площади в пределах Кумжинского месторождения занимают аллювиальные почвы.

Район исследований расположен в зоне Восточноевропейско-западносибирских травяно-кустарничково-мохово-лишайниковых, травяно-моховых и кустарниковых тундр [8], подзонах типичных и южных тундр. Растительные сообщества, представленные здесь, как правило, полидоминантные, с сомкнутым ярусом мхов и лишайников и разреженным кустарничково-травянистым ярусом. Самую северную часть района исследований занимают зональные кустарничково-моховые и кустарничково-лишайниковые северные (типичные) тундры. С ними соседствуют морошково-осоково-моховые (*Aulacomnium turgidum*, *Tomenthypnum nitens*) тундры в комплексе с осоково-сфагновыми (*Sphagnum robustum*, *Rarex rariflora*, *C. rotundata*) болотами в западинах. Южнее их сменяют ивняково-мелкоерниковые кустарниковые тундры. Пойма занята ивняково-болотно-лугово-кустарниковым экологодинамическим рядом субарктических пойм. Дельта Печоры и Коровинская Губа являются ценными водно-болотными угодьями и входят в Перспективный список Рамсарской конвенции вместе с полуостровом Русский Заворот [4].

История источника техногенного воздействия на почвы и растительность. Кумжинское месторождение является многопластовым и включает серию газоконденсатных залежей в отложениях среднего и верхнего карбона, перми и триаса на глубинах 1480–2450 м [5]. В 1974 г. Кумжинская площадь была введена в глубокое поисковое бурение. Всего в пределах месторождения пробурено 28 скважин.

В 1980 г., 10 ноября, произошла первая авария – открытый газовый фонтан на скважине

№ 13, оперативно ликвидированный к 16 ноября. В том же году в результате бурения скважины № 9, произошла авария с открытым выбросом газа с дебитом около 2 млн м³/сут, ставшая крупнейшей на данном месторождении. Вокруг стволов скважин образовались грифоны, а устья скважин № 9, 10, 5, 134 провалились ниже уровня земли и были затоплены водой из протоки Малый Гусинец. Летом 1981 г. на протяжении двух километров поверхность воды в протоке была покрыта пленкой нефтепродуктов [11]. Для предотвращения загрязнения Коровинской губы грифоны были отделены обваловками, а участок Малого Гусинца, оказавшийся в зоне сброса нефтезагрязненных вод, был перекрыт заграждениями, а впоследствии дамбами. Спустя год масштаб аварии потребовал применения ядерного заряда для смещения пластов с целью перекрытия газового фонтана. С этой целью были пробурены наклонные скважины 26 и 27. В марте 1987 г. на глубине 1003 м удалось выйти на ствол аварийной скважины. Был произведен ядерный взрыв на глубине 1.5 км мощностью 37.5 килотонн в тротиловом эквиваленте. В результате 25 мая 1987 г. скважина Кумжинская-9 была задавлена и зацементирована до устья. Работы по бурению новых скважин были приостановлены, а существующие выведены из эксплуатации и законсервированы.

Несмотря на это, в дальнейшем фиксировались выходы газа из грифонов и аккумуляция загрязняющих веществ в донных отложениях, что явилось причиной вторичного загрязнения воды р. Печоры [11].

В 1997 г. в районе исследований был основан Ненецкий государственный природный заповедник, одной из целей создания которого был мониторинг состояния ландшафтов дельты Печоры после аварии.

Объекты и методы исследований. Представленные в статье данные получены в процессе полевых и лабораторных исследований, проведенных в 2011–2013 гг. автором совместно со студентами географического факультета МГУ им. Ломоносова и в тесном сотрудничестве с сотрудниками Ненецкого заповедника. На полевом этапе работы района исследований были выделены два основных комплекса, принципиально различающихся по составу материнских пород и по формирующимся на них почвах и растительности: тундровый на останцах речных и морских террас и пойменный. В пределах обоих был выбран ряд из трех ключевых участков, различающихся по степени нарушенности: условно-фоновый, трансформированный в результате безаварийного

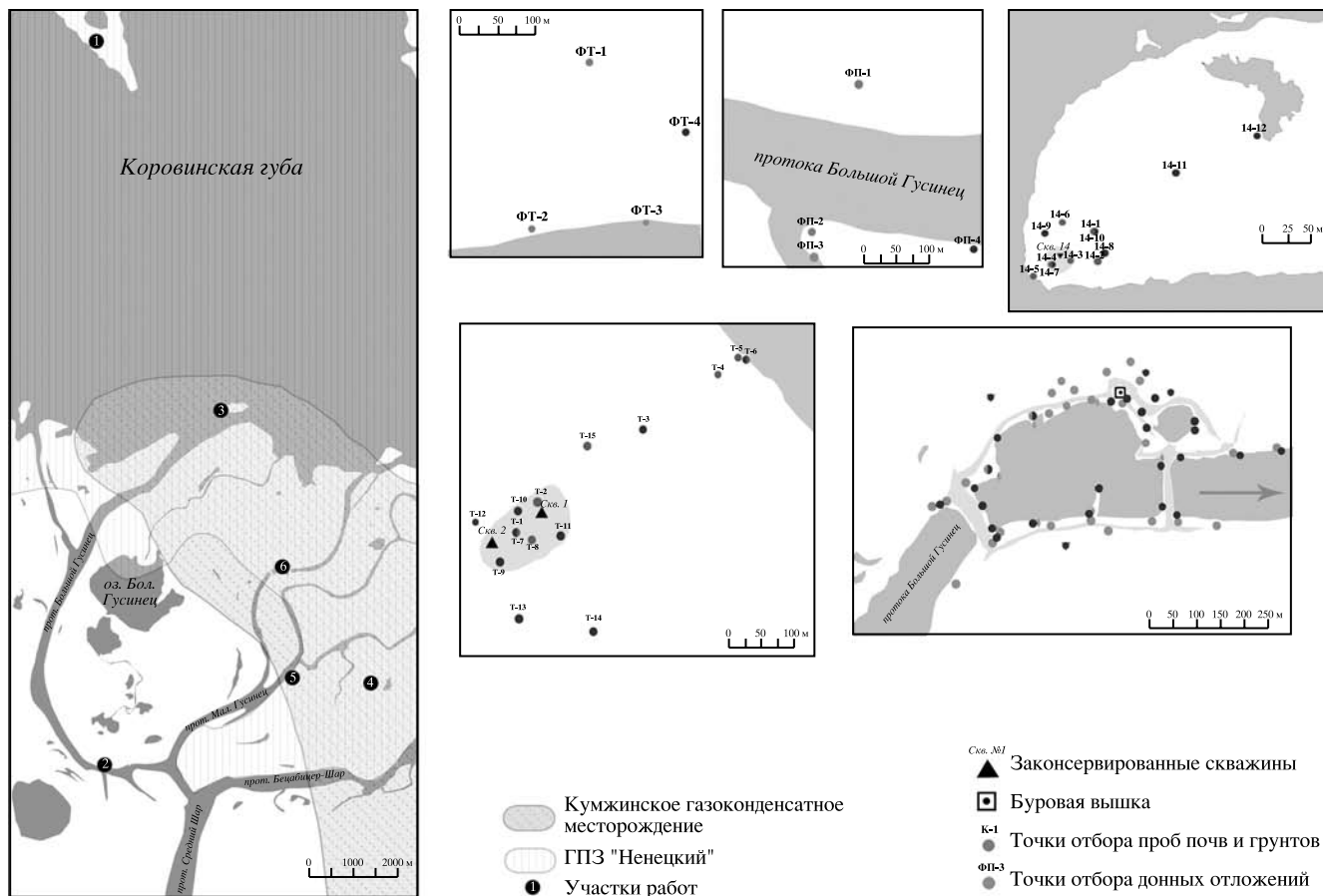


Рис. 1. Карта района исследований (дельта р. Печоры, Ненецкий АО).

функционирования скважин, и аварийный. Их расположение относительно границ заповедника и месторождения отображено на карте (рис. 1). В каждом из комплексов были заложены почвенные разрезы в разном удалении от источника воздействия, с учетом особенностей рельефа местности и смены растительных сообществ (всего 35 за два года исследований).

На аварийном участке преимущественно отбирались поверхностные пробы почв до глубины 20 см, и было заложено четыре почвенных разреза. На остальных участках выполнялись описания полноценных почвенных разрезов, так как при описании техногенной трансформации почв и выделении техноземов большое значение имеют морфологические признаки и строение почвенного профиля. Также на всех участках в водоемах отбирались донные отложения и выполнялись описания растительного покрова (видовой состав, проективное покрытие, наличие видимых морфологических изменений, название растительной ассоциации). В 2011 г. было отобрано 58 проб почв и донных отложений, в 2013 г. – 83 пробы. В 2011 г. автором совместно с К.В. Кочи в лаборатории географиче-

ского факультета МГУ были проведены их анализы на общее содержание солей (в водной вытяжке) по TDS, актуальную кислотность потенциометрическим методом, а также остаточное содержание нефтепродуктов и их групповой состав флуориметрическим методом. В 2013 г. также были определены содержание органического углерода по методу Тюрина и подвижных форм металлов в почвах и растительности методом атомно-абсорбционной спектроскопии (табл. 1).

Фоновое состояние экосистем дельты Печоры было описано как по литературным и фондовым источникам, так и на основе полученного автором полевого материала. Площадки описания располагались за пределами Кумжинского лицензионного участка, по берегам протоки Большой Гусинец и на п-ове Коснос. Перенос поллютантов со стоком реки и нахождение в пределах Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции являются региональными факторами воздействия на эти участки. Это учитывалось при составлении нормативов остаточного содержания нефтепродуктов в рекультивируемых землях на территории Ненецкого АО, вступивших в действие в 2011 г.

Таблица 1. Виды анализов и количество проб почв и растительности, проанализированных в процессе лабораторных исследований 2011 и 2013 гг.

Виды анализов	Количество проб	
	2011 г.	2013 г.
Определение солевого состава почв (водная вытяжка) по TDS	52	91
Определение актуальной кислотности почв (потенциометрическим методом)	52	91
Определение остаточного содержания нефтепродуктов на анализаторе жидкости “Флюорат-02” ПНД Ф 16.1.21-98	52	60
Определение содержания гумуса по методу Тюрина	–	91
Определение содержания Ni, Pb, Mn, Zn, Cu, Co в грунте	–	51
Определение содержания Ni, Pb, Mn, Zn, Cu, Co в <i>Carex acuta</i> по сухому остатку	–	8

Почвообразование в тундре проходит под воздействием низких температур, переувлажнения и малой величины вегетационного периода, а главным фактором пространственной дифференциации становится литологический состав материнских пород. Ежегодно в почву поступает сравнительно небольшое количество органического вещества и преимущественно поверхностный опад. Малая глубина залегания корневой системы служат причиной слабого развития гумусового горизонта. Отмечаются также кислая реакция среды грубого органического вещества, коагуляция и осаждение в профиле растворимых и способных к миграции соединений в результате регулярного промерзания почвы [17]. Аллювиальные почвы характеризуются восстановительным режимом в результате переувлажнения, а развитие глеевого процесса приводит к сизой окраске горизонтов.

На фоновом тундровом участке на останце террасы под ерничково-багульниково-кладониевым сообществом был вскрыт профиль торфянистого подзола на погребенном подзоле, криотурбированном с кислой реакцией по всему профилю и низким содержанием гумуса (менее 2–3%). Условно плакорные поверхности здесь занимают кустарничково-лишайниковые тундры. Наиболее возвышенные и сухие участки занимают сообщества с доминированием *Empetrum hermaphroditum* и *Ledum decumbens* в травяно-кустарничковом ярусе и кустистых лишайников *Cetraria islandica*, *Cetraria nivalis*, *Cladonia sylvatica*, *Cetraria laevigata* в мохово-лишайни-

ковом. Проективное покрытие последнего близко к 100%. Также встречаются сообщества с преобладанием *Betula nana* в кустарничковом ярусе и *Ledum decumbens* – в травяно-кустарничковом, с разнообразными видами цетрарий в мохово-лишайниковом ярусе. Из других кустарничков отмечены *Vaccinium vitis-idaea* и *Arctous alpine*, которая формирует достаточно плотный покров в небольших понижениях.

Средняя пойма сложена легкосуглинистыми отложениями, на них развиваются аллювиальные дерновые глеевые почвы с профилем вида A1–A1C_g–G_{fe} под вейниковым ивняком с сомкнутостью кустарничкового яруса около 0.7 и проективным покрытием травянистого покрова 30–40%. Плохо дренируемые понижения занимают аллювиальные торфянисто-глеевые почвы под осоковыми сообществами. Растительные сообщества отличает высокая гомогенность, на незанятых ивняком участках формируются вейниковые сообщества с доминированием высокотравья (таволги, герани) и достаточно высоким (около 75%) проективным покрытием. Доминантами травянистого яруса являются *Calamagrostis langsdorffii*, *Filipendula ulmaria*, *Veratrum lobellianum*. Обычны такие виды, как *Geranium palustre*, *Ptarmica salicifolia*, *Equisetum pratense*. Моховый покров развит слабо, его проективное покрытие не превышает 5%.

На низкой пойме под осоково-разнотравными и монодоминантными осоковыми сообществами с проективным покрытием до 90–95% были вскрыты маломощные аллювиальные перегнойно-глеевые почвы, сформировавшиеся на легко- и среднесуглинистых отложениях с прослоями алевритов. Безусловным доминантом является *Carex aquatilis*, а также *Equisetum arvense*. Встречаются *Calamagrostis langsdorffii*, *Comarum palustre*, моховой ярус представлен преимущественно *Hypnum lindbergii* и *Plagiomnium curvatum*.

Почвы поймы характеризует низкая порозность, наличие глеевых горизонтов и рыже-бурых железистых пятен на более высоких ее участках. Содержание гумуса незначительно, менее 3%. Почвы поймы характеризует pH 4.5–5.0, а почвы останцов террас отличаются еще более низкими его значениями – 3.5–4.5. Что касается содержания нефтепродуктов, то везде оно не превышает региональных нормативов [14] и составляет 8–200 мг/кг.

Тундровые ландшафты относятся к кислому глеевому классу. Геохимические особенности тундровых ландшафтов описываются формулой

А.И. Перельмана, составленной для Большеземельской тундры [13]:

$$\frac{O, N, P, K, Ca, Na}{H, Fe, Al},$$

где в числителе находятся дефицитные элементы, а в знаменателе – избыточные.

Было проведено определение концентраций элементов, загрязнение которыми возможно при добыче углеводородного сырья: Ni, Pb, Zn, Cu, Co.

Для всех представленных элементов наблюдается рассеивание в почвах (рис. 2).

Минимальное рассеивание отмечается у никеля ($K_c Ni = 8$), максимальное – у свинца ($K_c Pb = 29$). Таким образом, для почв субарктической поймы наблюдается дефицит как макроэлементов, так и микроэлементов.

Состояние растительных сообществ, их видовое разнообразие и занимаемые ими гипсометрические уровни не отличаются от представленных в литературе [10].

Безаварийный тундровый участок. Скважины №№ 1 и 2 располагаются на общей площадке овальной формы 200–300 м между протоками Козлюков Шар и Барабинец Шар на значительном удалении от берега (рис. 1). Работы по бурению начались здесь в 1974 г., а к 1978 г. скважины были законсервированы, однако полностью рекультивационные работы на площадке проведены не были: отмечается наличие строительного мусора, мешков с реагентами. Растительный покров здесь так и не восстановился. Фонтанная арматура на скважине № 1 окружена помостом.

Участок располагается на высоте около 3 м над у.м. на участке надпойменной террасы с бугристо-западинным микрорельефом. Заметны изменения, вызванные техногенным воздействием: площадки скважин, обваловка и отвалы песка, многочисленные колеи, оставленные тяжелой техникой, дороги. Все это оказывает влияние на перераспределение почвенной влаги по площади. Снежный покров на участках освоения уплотняется и сходит раньше обычного времени, что еще больше способствует протаиванию мерзлых грунтов [16]. Достаточно большие площади лишены растительного покрова, а местами он находится в угнетенном состоянии, что способствует распространению дефляционных песчаных воронок.

Состояние почвенного покрова на данном участке разительно меняется по мере удаления от источника воздействия. Техническая площадка занята антропогенными почвами, сформировав-

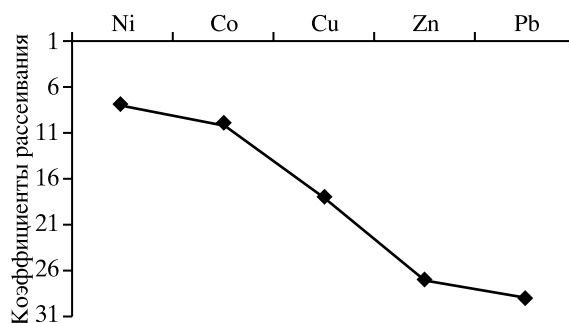


Рис. 2. Кларки рассеивания тяжелых металлов для аллювиальных перегнойно-глеевых почв района исследований.

шимися на техногенном наносе, и почвами с двухчленным профилем, включающим наложенный профиль молодой дерновой почвы и профиль погребенной почвы. Профиль почв состоит из слаборазвитых горизонтов: АО – грубогумусовый горизонт, ТГ – техногенный горизонт со слабыми признаками почвообразования, Стг – техногенная почвообразующая порода. Под ней ближе к границе площадки вскрываются погребенные гумусо-аккумулятивный горизонт и почвообразующая порода с признаками оглеения. Песчаный состав техногенного наноса и погребенной почвообразующей породы наследуется и вышележащими горизонтами. Границы ясные и прямые, в профиле встречаются железистые потеки. В некоторых местах дерновый процесс не идет в настоящее время и техногенный субстрат однороден, и классифицируется как техногенное поверхностное образование (ТПО). Для ТПО возможно покрытие растительным покровом, характерны определенные термические и водные режимы [19]. В профиле были встречены прослойки пропитанного нефтепродуктами технического мусора и цементной крошки.

Растительный покров на площадке развит слабо, имеет антропогенный характер. Единичные экземпляры кипрея узколистного на песчаных раздувах чередуются с ассоциациями, где в травянистом ярусе доминируют *Festuca rubra* и *Tripleurospermum hookeri* с ПП менее 15%, а моховой покров почти не развит. Наиболее богаты по видовому составу вторичные сообщества, занимающие небольшие понижения, равноудаленные от скважин. Здесь также является доминантом *Festuca rubra*, с ней соседствует *Empetrum hermaphroditum* и *Tanacetum vulgare*, в целом проективное покрытие травянисто-кустарничкового яруса составляет около 40%.

На отдалении от площадки, под ивово-багульниково-лишайниковым сообществом формируются дерновые маломощные почвы на крупно-

зернистых песках. Мощность грубогумусового горизонта не превышает 2 см, темная окраска гумусом наблюдается до 5 см. В них, так же как и в почвах технической площадки, заметна роль ожелезнения: в верхних 50–60 см наблюдаются ржавые пятна и потеки. В 200 м от технической площадки, за русловым валом было заложено два почвенных разреза и отобраны пробы донных отложений. Там формируются аллювиальные дерновые глееватые слоистые почвы на аллювиальных песках. В их профиле заметно оглеение, а в разрезе, расположенном на высоте приблизительно 70 см над урезом воды, и железистые пятна в верхнем горизонте. Проективное покрытие растительных ассоциаций близко к 100%, развит моховый покров. Доминантами являются *Carex aquatilis*, *Comarum palustre*.

В почвах этого участка отмечается подщелачивание, особенно заметное в верхних горизонтах. По-видимому, оно связано с карбонатностью техногенного субстрата. При удалении от буровой

площадки подщелачивание почв выражено менее ярко (рис. 3).

Для почв в пределах технической площадки в 2013 г. заметно незначительное (на 0.5) снижение значений pH по сравнению с 2011 г., состояние же почв за обваловкой осталось неизменным. Засоления почв не выявлено.

Содержание нефтепродуктов также претерпело некоторые изменения. В дерновых почвах в пределах буровой площадки в 2011 г. отмечалось более высокое, чем в 2013 г., содержание нефтепродуктов, достигавшее в верхних горизонтах 4 г/кг, а также сильная дифференциация профиля по этому признаку (рис. 3). В 2013 г. максимальные отмеченные значения не превысили 1 г/кг. В 2011 г. также было выявлено загрязнение донных песков, содержание нефтепродуктов в них в 10 раз превышало нормативные значения (1020 мг/кг). В 2013 г. содержание нефтепродуктов также было выше нормативного, но в 4 раза меньше. Подобные флуктуации можно связать с

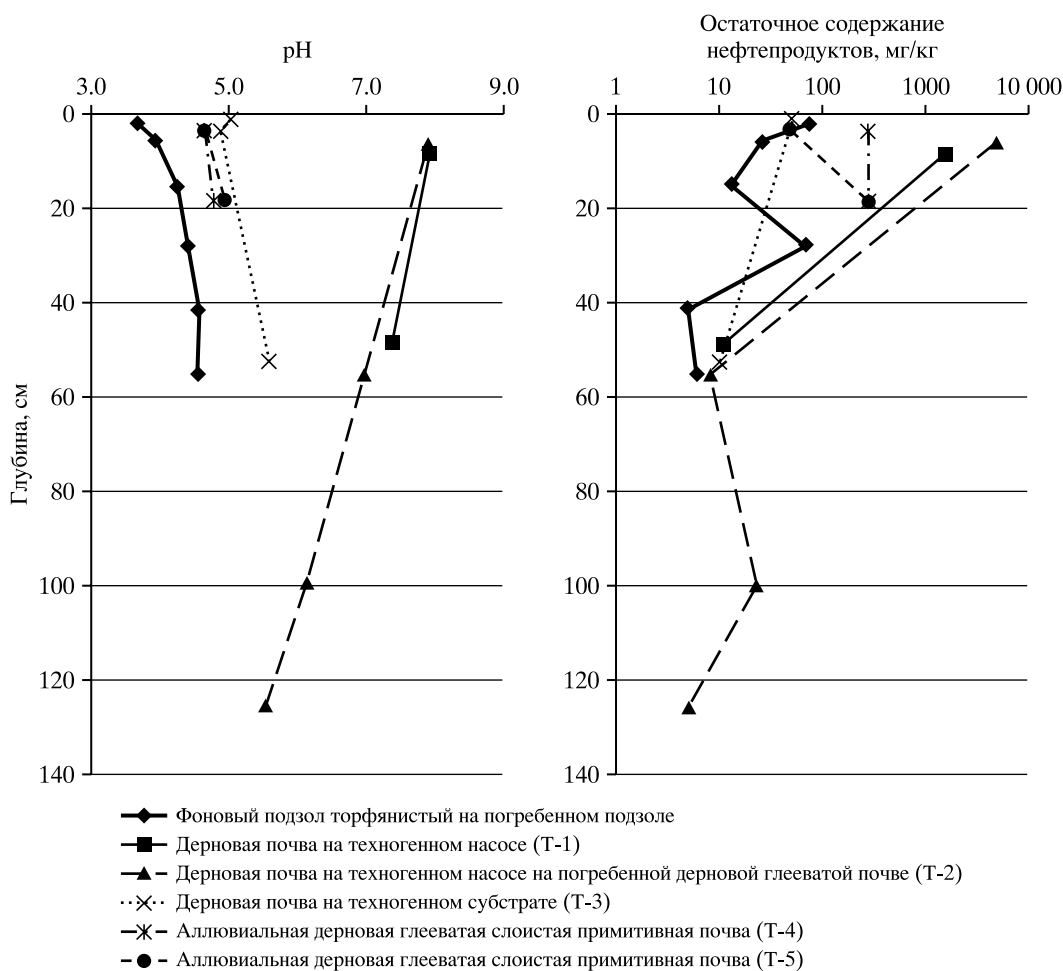


Рис. 3. Щелочно-кислотные условия и содержание нефтепродуктов в почвах тундрового безаварийного участка в районе Кумжинского газоконденсатного месторождения.

неточностью выбора места отбора пробы или же с тем, что источником загрязнения был расположенный выше по течению аварийный участок.

Необходимо отметить, что поблизости от данного участка произрастают несколько видов редких растений, включенных в Красную книгу Ненецкого АО, например *Corallorhiza trifida* и единичные *Pinguicula alpina*.

Пойменный безаварийный участок расположен на острове, поблизости от скважины № 14. Бурение здесь было начато 30.10.1978 г., а законсервирована скважина была 08.04.1979 г. Участок характеризуется большей мозаичностью почвенного покрова, чем фоновый, что вызвано как перераспределением тепла и влаги в существующих почвах, так и формированием новых на техногенном субстрате в результате создания площадки скважины и последующего проведения рекультивационных работ. Поблизости от нее сохранились опоры трубопровода, встречается строительный мусор как на поверхности почвы, так и на глубине 20–50 см. Мелкобугристый рельеф самой площадки, наличие бессточных понижений к северу и к востоку от нее создают благоприятные условия для перераспределения загрязнителей и их пространственной миграции.

На основной поверхности средней поймы под лугово-болотной растительностью с проективным покрытием близким к 90% формируются аллювиальные дерновые глеевые почвы (АО – А1 – (А1Сg) – GFe), вскрытые на расстоянии 45 и 25 м от скважины соответственно. В мезопонижении рельефа под монодоминантным осоковым сообществом с проективным покрытием около 40% в 50 м к югу от скважины – аллювиальные иловато-торфянисто-глеевые почвы с профилем вида Т – G1 – G2. Поверхность почвы в понижении покрыта железистыми рыже-бурыми пленками, между кочками просачивается вода, запах углеводородов отсутствует. Обустройство и эксплуатация скважин привели к формированию в пределах площадки и поблизости от нее на техногенных субстратах под ивняково-разнотравно-злаковыми и осоково-разнотравными сообществами с достаточно большим, от 60 до 100%, проективным покрытием дерновых глееватых (А1v – А1 – СТГg) и дерново-глеевых почв (А1v – А1 – А1GFe – GFe).

Отмечается подщелачивание почв: в верхних горизонтах реакция смещена в сторону слабокислой и нейтральной (до 6.0–6.3); заметна большая, чем в фоновых почвах, дифференцированность профиля в этом отношении. В 50 м от границ площадки значения кислотности почв близкие к фоновым.

Поступление загрязняющих окружающую среду углеводородов приводит к изменениям морфологических свойств почв: появляются темноокрашенные прослойки с характерным запахом, усиливается процесс оглеения из-за изменения влагопроницаемости. Также важным фактором изменения морфологических свойств почв является привнесение техногенного субстрата, представленного крупнозернистым песком с включениями гравия. В почве, образовавшейся на техногенном субстрате в пределах кустовой площадки, признаки оглеения в виде сизых и охристых пятен появляются только в самом нижнем горизонте, на глубине 23–50 см, тогда как в 25–45 м от кустовой площадки они заметны уже с 8 см, а на глубине 35–45 см формируется глеевый горизонт.

Интенсивность загрязнения на безаварийном участке изменяется в широких пределах и в верхнем органо-минеральном горизонте аллювиальной дерновой глеевой почвы, вскрытой в 25 м от скважины, концентрация нефтепродуктов достигает 27 560 мг/кг, что превышает значения региональных нормативов для земель особо охраняемых территорий [14]. В целом для исследованного участка характерно повышенное содержание нефтепродуктов в верхних горизонтах, что говорит о перераспределении поллютанта поверхностными водами. К глубине 30–40 см содержание нефтепродуктов приближается к фоновым значениям (рис. 4).

В 2013 г. было отмечено незначительное снижение концентрации нефтепродуктов, а также выявлены следы серы в верхних горизонтах почв поблизости от скважины. Следует отметить, что в образцах с наибольшим количеством нефтепродуктов они относятся к третьему классу, а в остальных образцах – к первому (легкие НП). Загрязнения донных отложений ни в 2011 г., ни в 2013 г. выявлено не было.

Вместе с увеличением мозаичности почвенного покрова отмечается и увеличение мозаичности покрова растительного, в частности включение такого синантропного вида, как *Plantago lanceolata*, и формирование на технической площадке вокруг скважины пионерной группировки (разнообразные мхи, овсяница луговая и др.). На средней пойме менее чем в 10 м от скважины произрастает ивняк с сомкнутостью кустарникового яруса около 0.2 и травянистым ярусом с проективным покрытием около 60% (пижма, овсяница луговая, сабельник, подорожник ланцетолистный). Особенно заметной на этом участке становится роль рельефа в формировании растительного покрова: в связи с наличием замкнутых мезопонижений и

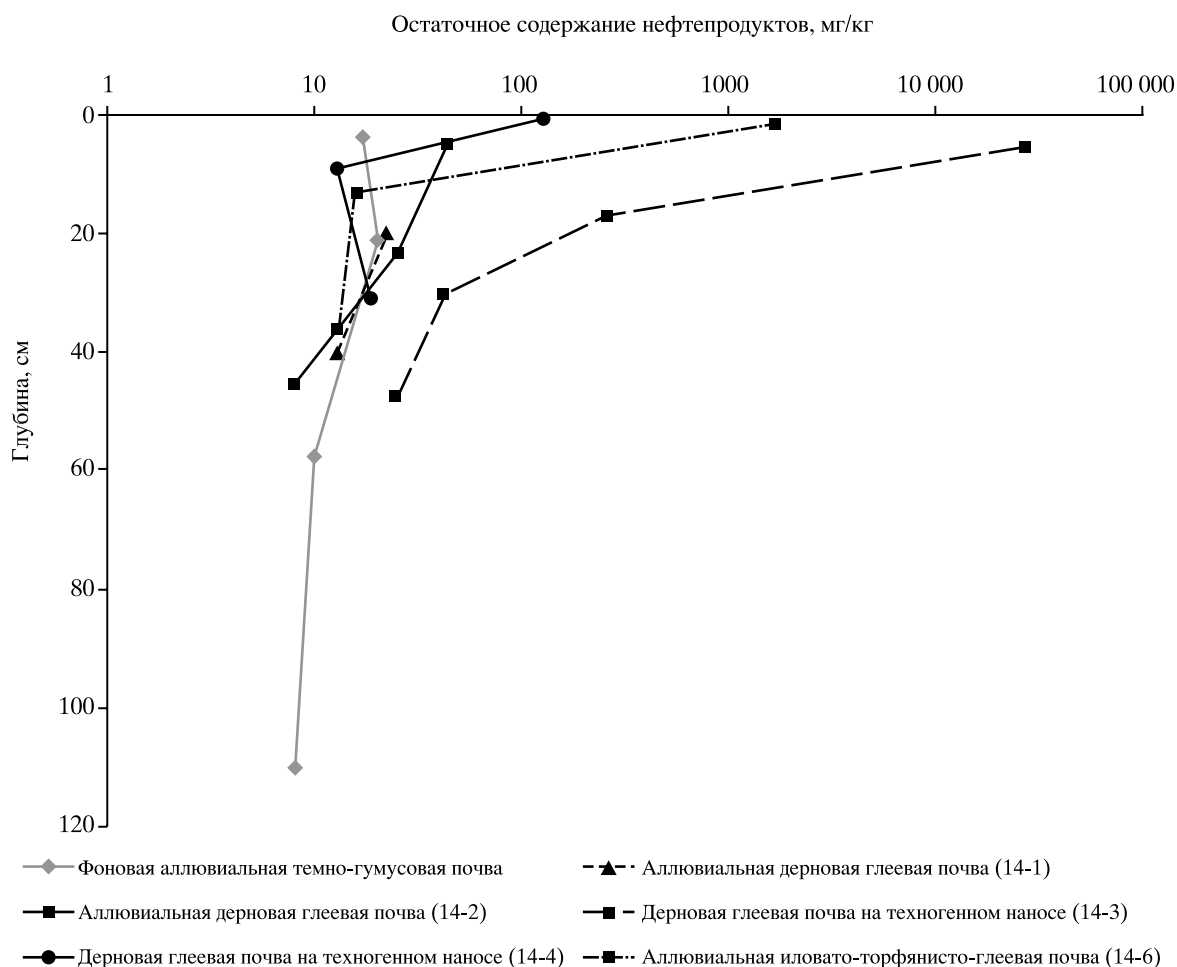


Рис. 4. Остаточное содержание нефтепродуктов в аллювиальных почвах фоновых и безаварийных участков Кумжинского газоконденсатного месторождения.

насыпной площадки границы между сообществами легко очерчиваются.

Аварийный участок является центральным объектом исследований на протяжении многих лет. Степень трансформации пойменных экосистем здесь значительно выше, чем на безаварийных участках, а изменения охватили большую площадь.

Непосредственно в результате аварии произошли просадки грунта и образовались два грифона, в настоящее время затопленные водами протоки. Глубина протоки Малый Гусинец, ранее не превышавшая 3.5 м, значительно больше на аварийном участке и доходит до 15 м по данным проведенных заповедником исследований [11]. В дальнейшем место аварии было окружено обваловкой и дамбами, ежегодно подновляемыми, для чего выше по течению от водохранилища был создан склад песчано-гравийной смеси. Помимо этого, вне пределов обваловки есть следы временных

дорог от гусеничной техники. Встречаются они и по берегам водохранилища. В настоящее время высота дамб над урезом воды составляет от 3 до 12 м, а ширина около 6–20 м. Ширина обваловки от 1 до 3 м, а высота – от 1 до 2 м. По левому берегу она проходит несколько ближе к урезу воды (в 2–8 м), чем по правому, где отдалается от него на 12–14 м (рис. 5).

Появление техногенных форм рельефа является причиной и более мелкомасштабных изменений: отмечается заболачивание и просадки грунта по левому берегу протоки. В литературе подобное поведение грунтов связывается с нарушениями температурного и водного режима при появлении насыпных форм рельефа и нарушении растительного покрова [16].

Продолжающееся поступление нефтепродуктов в почвы и воды отмечается сотрудниками заповедника, а также и автором во время полевых работ 2011 и 2013 гг. Содержание нефтепродук-



Рис. 5. Панорама обваловки на аварийном участке Кумжинского газоконденсатного месторождения.

тов в водах техногенного водохранилища и ниже по течению от него измеряется на протяжении многих лет. Динамика имеет сезонный и многолетний характер. После зимнего накопления нефтепродуктов в грифоне скважины № 9 наблюдается их весенний выброс в систему проток и далее в Коровинскую губу. В 2002 г. было отмечено накопление углеводов вблизи от большого грифона, их содержание колебалось в пределах от 0.44 до 32.3 мг/л, что в десятки и сотни раз превышало ПДК_{рх}. Отмечается выход пузырьков газа, наличие маслянистых пленок на поверхности воды.

Морфологические свойства почв на аварийном участке изменены в результате механического воздействия: разведки и обустройства участка, использования тяжелой техники, а также в результате рекультивационных работ (пересыпки загрязненных площадей песчано-гравийной смесью, создания обваловки и дамб). По причине ежегодного обновления обваловки процесс образования дернового горизонта зачастую не заметен, поверхность насыпей покрыта единичными экземплярами *Festuca richardssonii* и накипными лишайниками. В результате поступления нефтепродуктов и смены водно-воздушного режима наблюдаются изменение цвета и характера окраски горизонтов. При высоких концентрациях загрязнителя и нарушении воздухопроницаемости горизонтов в средних и нижних частях профиля загрязненных почв отмечается заполнение пор и трещин серо-бурым или сизо-серым коллоидным веществом. В профиле погребенных аллювиальных почв заметна слоистость в распределении нефтепродуктов, вызванная различиями в механическом составе. Увеличивается неоднородность окраски горизонтов почв на техногенном наносе: привнесенное органическое вещество неравномерно распределяется по профилю, концентрируясь по корням. Это влияет и на характер границ горизонтов: они приобретают крупно-язычковатую и кармановидную форму, зачастую формируется

новый переходный горизонт. Турбация верхних горизонтов выражена слабо.

Наиболее заметно загрязнение нефтепродуктами становится при анализе грунтов прибрежной полосы водохранилища. На их поверхности видны плотные битуминозные пленки, грязно-желтые вблизи уреза воды и меняющие цвет на почти черный в 70 см от него.

Аварийный участок отличается большая контрастность химических свойств почв: щелочно-кислотные условия и уровень загрязнения изменяются в больших диапазонах на малой площади. Так, дерновые глеевые маломощные почвы под пушицево-осоковыми сообществами с большим проективным покрытием на правом и левом берегу за пределами обваловки отличаются малое значение pH – около 3.8. Большинство изученных почв, однако, имеют кислую и слабокислую реакцию среды (pH = 4.7–5.8), а для дерновых маломощных почв под пионерными группировками с проективным покрытием от 5 до 50% на левом берегу в пределах обваловки отмечены максимальные значения pH = 7.4–8.2. В пространственной дифференциации изменений щелочно-кислотных условий почв аварийного участка можно выделить следующую закономерность: наиболее высокие значения pH отмечаются вблизи основных источников загрязнения (грифонов на месте скважин) на левом берегу. Таким образом, для аварийного участка в целом характерно подщелачивание почв, связанное с поступающими потоками веществ, содержащими нефтепродукты, и с карбонатностью техногенного субстрата, использованного для сооружения дамб и насыпей.

По результатам анализа содержания легкорастворимых солей в 2011 и 2013 гг. техногенного галогенеза выявлено не было: максимальное содержание солей не превышает 0.6%, в составе катионов преобладают кальций, магний и калий, а в составе анионов – гидрокарбонат-ион и сульфат-ион, они доминируют и в пластовых водах месторождения.

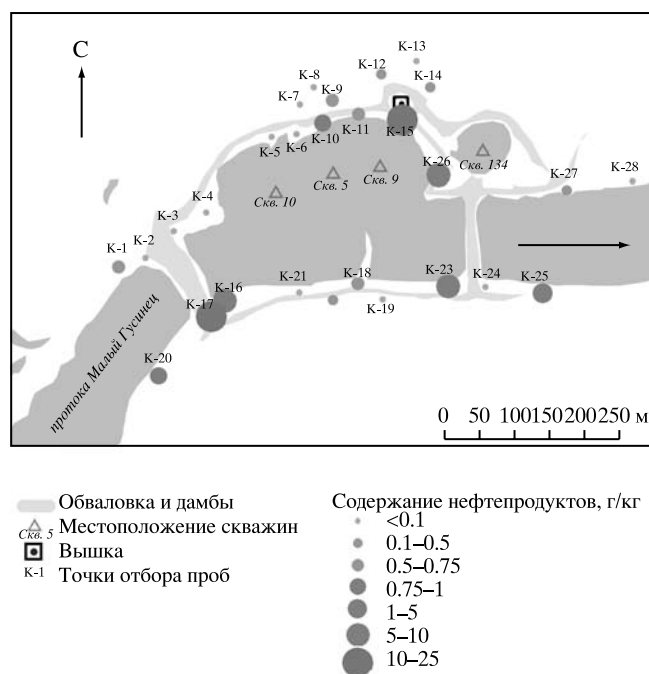


Рис. 6. Содержание нефтепродуктов в почвах и донных отложениях на аварийном участке Кумжинского газоконденсатного месторождения.

Наибольшие концентрации нефтепродуктов отмечаются на левом берегу в пределах вала, что связано с близостью к затопленным аварийным скважинам (рис. 6). Концентрация нефтепродуктов в почве поблизости от них превышает региональный норматив для земель водного фонда в 17 раз, а поблизости Малого Грифона – более чем в 30 раз (24 300 мг/кг). В техногенном же субстрате по левому берегу, а также за пределами обваловки выше по течению она не превышает, а иногда и существенно ниже регионального уровня. Обнаруженные в почвах нефтепродукты в основном относятся к легким, иногда в них присутствуют следы серы (например, в пробах донных отложений в пределах обваловки). Отмеченные в 2013 г. концентрации нефтепродуктов равны или на 25% и менее ниже, чем измеренные в 2011 г. в тех же точках взятия проб.

Подобный разброс значений имеет несколько возможных причин: регулярная пересыпка грунтом легкого механического состава после снятия естественного почвенного слоя, различия в подтоке углеводородов, связанные с особенностями геологического строения участка и удаленностью точек отбора проб от грифонов.

На аварийном участке также отмечаются антропогенные изменения растительного покрова, связанные с подновлением обваловки и перераспределением техногенного материала. Начало

сукцессии и формирование пионерных группировок затруднены, что, в свою очередь, приводит к тому, что процесс почвообразования и развитие растительного покрова идут крайне медленно и с неодинаковой скоростью. На большей части аварийного участка в пределах обваловки в 2011 г. отмечалось низкое (5–40%) проективное покрытие растительности, ее угнетенное состояние и случаи некроза ивы сизой (*Salix glauca*). В 2013 г. было отмечено увеличение площади, занимаемой разнотравно-злаковыми сообществами и осочниками. Последние, с хвощом болотным (*Equisetum palustre L.*) или с пушицей влагалищной (*Eriophorum vaginatum*) в роли вида-субдоминанта, занимают существенные площади по берегам протоки. Данные виды растений, как показали наблюдения, достаточно устойчивы к углеводородному загрязнению. В исследованиях прошлых лет, проводимых заповедником, осока *Carex aquatilis* выступала в виде вида-биоиндикатора загрязнения тяжелыми металлами. Она широко распространена на исследуемой территории, устойчива к антропогенному воздействию и служит кормовой базой для водоплавающих птиц дельты Печоры.

Максимум содержания углеводов, как правило, приурочен к гумусово-аккумулятивному горизонту. Поэтому имеет смысл сравнить их содержание именно в нем, в зависимости от типа ландшафта. Результаты исследований приведены в табл. 2.

При изучении содержания тяжелых металлов в грунтах безаварийного и аварийного участков и растительности был выявлен ряд закономерностей: коэффициенты концентрации большинства элементов не превышают единицы, за исключением цинка, содержание которого в грунтах легкого состава несколько выше фонового на безаварийных площадках. На них также выявлено относительно высокое содержание свинца ($K_c = 1.25$), что связывается с воздействием транспорта [9]. Содержание остальных металлов, как правило, не превышает фоновый уровень. Коэффициент биогеохимического поглощения (B_x) на аварийном участке выше всего для Zn, однако его содержание в почвах не превышает фоновое и скорее всего связано с особенностями поглощения этого металла растениями, а не техногенным загрязнением.

Заключение. Наблюдаемые на Кумжинском газоконденсатном месторождении изменения растительного и почвенного покрова, морфологических и физико-химических свойств почв и донных отложений свидетельствуют о долговременном

Таблица 2. Максимальное остаточное содержание нефтепродуктов в гумусовом горизонте почв Кумжинского газоконденсатного месторождения

Участок	Тип ландшафта				
	Аккумулятивно-элювиальный	Трансэлювиальный	Трансэлювиально-аккумулятивный	Транс-супераккумулятивный	Аккумулятивный
Безаварийный тундровый	4880	500	50	280	1020
Безаварийный пойменный	630	510	27 560	200	21
Фоновый тундровый	76	15			
Фоновый пойменный			17	9	15

антропогенном воздействии, имеющем аккумулятивную природу.

Поблизости от скважин наблюдается подщелачивание верхних горизонтов и увеличение содержания цинка и свинца в почвах. Максимальная концентрация нефтепродуктов отмечена в гумусовом горизонте (до 27 г/кг), однако в случае двухсложного строения профиля может наблюдаться максимум, приуроченный к верхним горизонтам погребенной почвы (до 6 г/кг). Содержание нефтепродуктов с глубиной, как правило, достаточно резко убывает. Велика и латеральная контрастность концентрации загрязнителей, что особенно заметно на аварийном участке.

В составе растительных сообществ и пионерных группировок вблизи от источников техногенного воздействия наблюдается увеличение числа представителей злаково-разнотравных сообществ поймы и включение в их состав синантропных видов. Также возрастает площадь, занимаемая осочниками и пушицевыми монодоминантными сообществами, благодаря их устойчивости к углеводородному загрязнению.

За годы наблюдений отмечена положительная динамика в состоянии почв и растительности загрязненных участков Кумжинского месторождения: снижение концентрации углеводородов в почвах аварийного и безаварийных участков, увеличение видового разнообразия и проективного покрытия растительных сообществ. Наиболее проблемным остаются вопросы медленного зарастания технических площадок и обваловок, высокое загрязнение углеводородами донных отложений и техногенные изменения рельефа.

Экосистемы находящегося на территории Ненецкого государственного заповедника Кумжинского месторождения требуют дальнейшего изучения как в целях мониторинга последствий

аварии при добыче углеводородов и проведения соответствующих рекультивационных работ, так и для наблюдения за процессами самовосстановления почв и растительности в дельтах тундровых рек после аварий при нефтедобыче.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев В.Н.* Изучение антропогенных воздействий на растительность Арктики и Субарктики / Изучение биогеоценозов тундры и лесотундры. Л.: Изд-во АН СССР, 1972. С. 43–49.
2. *Андреев О.П., Арабский А.К., Миронов В.В., Ярыгин Г.А., Вильчек Г.Е., Баюкин М.В., Лукьянов О.В., Тишков А.А.* Стратегическая экологическая оценка как инструмент оптимизации программ освоения нефтегазовых ресурсов (на примере Обско-Тазовской губы) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2013. № 4. С. 41–48.
3. *Вильчек Г.Е., Тишков А.А., Вайсфельд М.А., Волкова И.В., Логинов А.Р.* Стратегическая экологическая оценка как инструмент оптимизации проектов на шельфе // Изв. РАН. Сер. геогр. 2012. № 5. С. 7–27.
4. Водно-болотные угодья России. Т. 3. Водно-болотные угодья, внесенные в Перспективный список Рамсарской конвенции / Под общ. ред. В.Г. Кривенко // *Wetlands Int. Global Ser.* 2000. № 3. 490 с.
5. *Гайдеек В.И., Кочетков О.С., Алисиевич Л.Н., Юдин В.М.* О путях формирования месторождений нефти и газа (на примере Тимано-Печорской провинции) // Геология нефти и газа. 2000. № 5. С. 44–49.
6. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. 6. Баренцево море. Справочное пособие. Вып. 3. Мурманск.: МФ ААНИИ, 1984. 274 с.
7. *Гладков В.П.* Естественное зарастание нарушенных разведочным бурением участков в северных районах Тимано-Печорского ТПК // Природопользование в системе хозяйства европейского Северо-Востока. Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 1987. С. 78–85.

8. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М.: Изд-во МГУ, 2006. 460 с.
9. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов (в шести книгах). Т. 1. М.: Недра, 1994–1997. 304 с.
10. Карта растительности европейской части СССР. М-б 1 : 2500 000. БИН АН СССР. М.: ГУГК, 1974.
11. Комплексная оценка воздействия всех планируемых работ по разработке Кумжинского и Коровинского месторождений на природные экосистемы ГПЗ “Ненецкий”, заказника “Ненецкий” и в целом р. Печора, Печорской и Коровинской губ. Нарьян-Мар: ВНИГРИ, 2009. 289 с.
12. Лавров А.С., Потапенко Л.М. Неоплейстоцен северо-востока Русской равнины. М.: Аэрогеология, 2005. 222 с., 5 прил.
13. Мильков Ф.Н. Природные зоны СССР. М.: Мысль, 1977. 293 с.
14. Нормативы качества окружающей среды. Региональные нормативы допустимого остаточного содержания нефти и продуктов ее трансформации в почвах и донных отложениях водных объектов после проведения рекультивационных и иных восстановительных работ на территории Ненецкого автономного округа. Нарьян-Мар: Нарьян-Мар, 2011. 28 с.
15. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
16. Суходровский В.Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М.: Наука, 1979. 277 с.
17. Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 266 с.
18. Тишков А.А. Экологическая реставрация нарушенных экосистем Севера. М.: Изд-во УРАО, 1996. 116 с.
19. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
20. Chapin F.S. III, McGuire A.D., Randerson J., Pielke R. Sr., Baldocchi D., Hobbie S.E., Roulet N., Eugster W., Kasischke E., Rastetter E.B., Zimov S.A., Oechel W.A., and Running S.W. Feedbacks from arctic and boreal ecosystems to climate // *Global Change Biol.* 2000. Vol. 6. P. 211–223.
21. Kershaw G.P., Kershaw L.J. Ecological characteristics of 35-year-old crude-oil spills in tundra plant communities of the Mackenzie Mountains, N.W.T. // *Canad. Journ. Botan.* 1986. Vol. 64 (12). P. 2935–2947.
22. Yunker M.B., Backus S.M., Pannatier E.G., Jeffries D.S., and Macdonald R.W. Sources and Significance of Alkane and PAH Hydrocarbons in Canadian Arctic Rivers // *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* July 2002. Vol. 55. Issue. 1. P. 1–31.
23. Williams P.J. Permafrost and climate change: geotechnical implications / *Philosoph. Transact. Royal Soc. London.* 1995. A352. P. 347–358.
24. Пронедра [онлайн-ресурс]: <http://pronedra.ru/oil/2014/01/06/2013-dobycha-rt/>

Transformation of Floodplain Ecosystems in the Pechora Delta within the Kumzhinsk Gas Condensate Field (Nenets Autonomous Okrug)

A.N. Nikonova

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: an.ni.nikonova@gmail.com*

Data about main local pollution sources in the Pechora Delta, natural state of soil and vegetation cover are given. Their morphological changes due to mechanical and geochemical impact after the 1987 accident are listed. The spatial structure of pollution by oil products and its consequences for ecological and geochemical state of soils and bottom sediments in zone of influence of the accident and boreholes which functioned trouble-free is described.

Keywords: tundra, subarctic floodplain, alluvial soils, hydrocarbon pollution, accidents at oil and gas fields, subarctic floodplain vegetation, land remediation.

doi: 10.15356/0373-2444-2015-5-117-129