



УДК 574.24; 547.472; 574.474
DOI 10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589

Опыт полевого экспериментального моделирования воздействия разливов нефти и высокоминерализованных вод в средней тайге Западной Сибири

Двуреченская Е.Б.

Общественная некоммерческая организация «Русское географическое общество»,
Россия, 109012, г. Москва, Новая пл., 10 строение 2
E-mail: navrodsкая@gmail.com

Аннотация. Изучение геохимической трансформации почв в районах нефтедобычи осложнено многокомпонентностью потоков, поступающих в природную среду, и мозаичностью почвенного покрова, принимающего загрязнитель. Для верификации данных натурных наблюдений, а также с целью оценки по параметрам «воздействие-доза-эффект» был проведён модельный эксперимент, описывающий поведение загрязнителей в органогенных и минеральных почвах через неделю после загрязнения. Выполнен анализ данных полевого экспериментального моделирования загрязнения нефтью и высокоминерализованными водами почв гумидных ландшафтов Западной Сибири. Исследована трансформация солевого состава, щелочно-кислотных условий, радиальное распределение нефти в болотных торфяных верховых и торфяно-подзолисто-глеевых почвах через неделю после загрязнения (расчетная нагрузка для слоя почвы 10 см – 1000 г/кг нефти и 100 г/кг хлоридно-натриевого раствора). Выявлена различная скорость движения солевых и углеводородных аккумуляций в торфяно-подзолисто-глеевых и болотных торфяных верховых почвах. На уровне трансформации щелочно-кислотных условий различия проявились в обменной активности почв по отношению к нефти и высокоминерализованным водам. Данные эксперимента можно применять для разработки региональных нормативов и программ по ликвидации аварийных ситуаций на месторождении.

Ключевые слова: болота Западной Сибири, загрязнение нефтью, загрязнение сточными водами, нефтепромыслы, моделирование загрязнения, торфяно-подзолисто-глеевые почвы, торфяные болотные верховые почвы рямовых болот.

Для цитирования: Двуреченская Е.Б. 2021. Опыт полевого экспериментального моделирования воздействия разливов нефти и высокоминерализованных вод в средней тайге Западной Сибири. Региональные геосистемы, 45(4): 576–589. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589

Experimental Modeling of the Impact of Oil and Wastewater Spills in the Middle Taiga of Western Siberia

Elena B. Dvurechenskaya

Public non-profit organization «Russian Geographical Society»,
10 New Sq, building 2, Moscow 109012, Russia
E-mail: navrodsкая@gmail.com

Abstract. The article describes the results of data analysis performed after the field experimental simulation of oil pollution and wastewater from the soils of the humid landscapes of Western Siberia. The transformation of the salt composition, alkaline-acid conditions, the radial distribution of man-made hydrocarbons in the fibric histosols and histy-gleyic albeluvisols a week after the contamination was investigated. Volume of contamination agent for 10 cm soil sample depth. Crude oil was introduced to soils in the amount of 1000 g/kg, chloride-sodium mineralized water in the amount of 100 g/kg. The size

of experimental sites was 20 x 25 cm. Samples for the analysis were collected in a week after the introduction of the contaminants. Differences in technogenic area formation in different soils have been revealed. The results of these experiments can be used to develop and specify criteria for the creation of regional regulations and local programs for elimination of different emergencies in the field.

Keywords: raised bogs of Western Siberia, oil pollution, sewage pollution, oil fields, oil modeling of spills, fibric histosols, histy-gleyic albeluvisols.

For citation: Dvurechenskaya E.B. 2021. Experimental Modeling of the Impact of Oil and Wastewater Spills in the Middle Taiga of Western Siberia. *Regional Geosystems*, 45(4): 576–589. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-576-589 (in Russian).

Введение

Добыча углеводородного сырья (в том числе нефти), без которого современная цивилизация не может обойтись, сопровождается огромным ущербом для биосферы планеты, хотя сопутствующие этому виду деятельности отрицательные процессы не являются неизбежными. Однако ни один из современных промыслов не относится к «безотходному» производству из-за несовершенства технологии добычи или её нарушений, плохого качества или недопустимого износа оборудования. При этом, чем интенсивнее изъятие флюида, тем активнее идет формирование техногенных потоков, поступающих в природную среду.

Изучение геохимической трансформации почв в районах нефтедобычи осложнено многокомпонентностью техногенных потоков и мозаичностью почвенного покрова, принимающего загрязнитель [Солнцева, 1998; 2002; Вечная мерзлота ..., 2002]. Воздействие нефтепромыслов на природную среду отличается разнообразием состава загрязнителей, не всегда точно оценимым объёмом добычи и продолжительностью воздействия [Пиковский, 1993]. Полевое экспериментальное моделирование даёт более ясную картину эко-геохимических последствий каждого конкретного потока загрязнителя на определённый тип почв [Солнцева, 2002].

Как правило, модельные эксперименты в области нефтезагрязнения традиционно направлены на изучение и исследование трансформации выращенных культурных растений на почвах, загрязненных сырой нефтью [Бузмаков, Башин, 2004; Бузмаков и др., 2017] и продуктами её переработки (фитоиндикация) [Hendrickx et al., 2005; Shen et al., 2016]. Такие эксперименты помогают оценить токсический эффект для биоты. В свою очередь, данный опыт был сконструирован именно для изучения деградации некоторых типичных почв как матрицы для биогеоценоза в целом.

Объекты и методы исследования

Полевой эксперимент по моделированию воздействия нефти, дизельного топлива и высокоминерализованных вод на лесные и болотные экосистемы был проведён в июле 2018 г. на территории ХМАО полевым отрядом лаборатории почвенно-геохимических исследований географического факультета МГУ имени Ломоносова. Экспериментальные заливки загрязнителя выполнены на основе модельных экспериментов по нефтезагрязнению [Пиковский, 1993; Солнцева, 1998].

Для проведения экспериментального моделирования была выбрана площадка в 32 км к востоку от г. Ханты-Мансийск (рис. 1). В пределах площадки располагались два участка проведения эксперимента и точки комплексного описания фонового состояния природных экосистем.

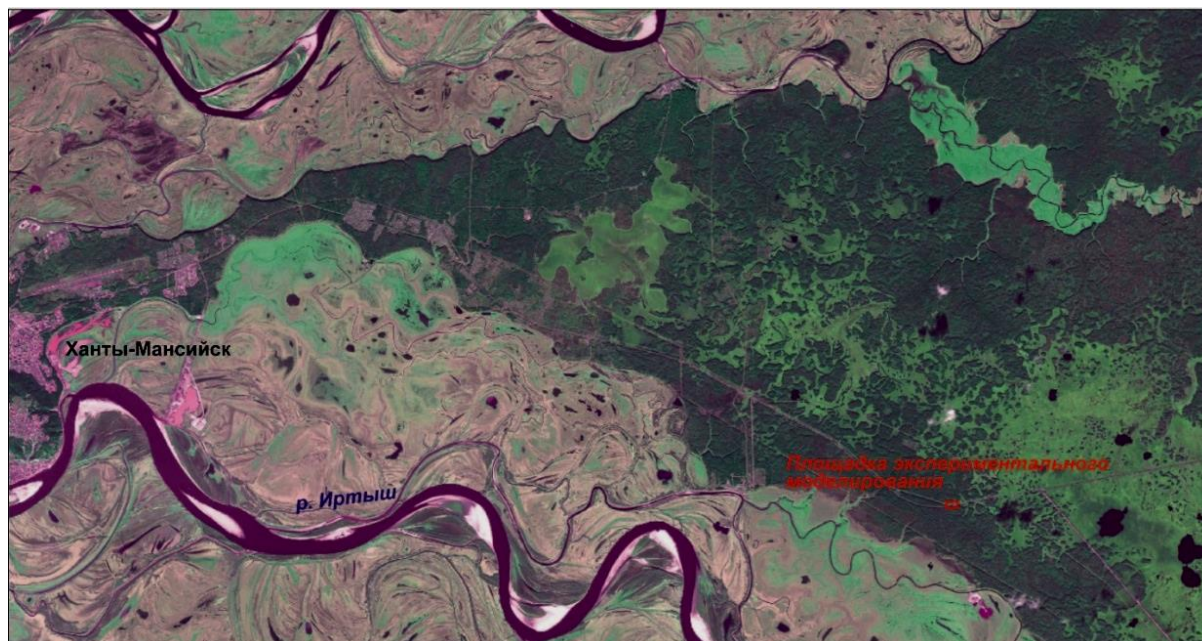


Рис. 1. Местоположение экспериментальной площадки (www.google.com)
Fig. 1. Location of the experimental site (www.google.com)

Площадка выбиралась по принципу охвата наиболее типичных для средней тайги ландшафтов¹. Первый участок располагался в пределах верхового рямового болота, второй – в елово-осиновом лесу (рис. 2). На каждом участке было по 8 площадок (20 × 25 см). На 4 площадки в пределах каждой экосистемы равномерно вносили хлоридно-натриевый рассол с концентрацией солей 100 г/л – вариант «NaCl», на следующие 4 площадки сырую нефть – вариант «Нефть». Техногенная нагрузка рассчитана для слоя почвы 10 см – 1000 г/кг нефти и 100 г/кг хлоридно-натриевого раствора.

Экспериментальные площадки заливались в четырех повторностях на период 7 дней для каждого из загрязнителей и для каждого типа почв. В лесу на площадках отбирались по 11 образцов по глубинам (0–5, 5–10 и далее через 10 см до 110) в двух повторностях (табл. 1). На болоте – по 5 образцов по глубинам (0–5, 5–10 и далее через 10 см до 40 см) в двух повторностях, из-за более высокого уровня верховодки в болотных почвах. Итого на болоте было отобрано 80 образцов, в лесу – 176. Общее количество образцов с площадок экспериментального моделирования – 256.

Природными почвами для болотной экосистемы на исследуемой территории являются торфяные болотные верховые почвы на мелких торфах, а для елового леса с кедром и берёзой – торфяно-подзолисто-глеевые почвы².

Морфологический профиль этих почв выглядит следующим образом: Ov – T1 – TT. Очес мха Ov буровато-желтого цвета состоит из живых сфагновых мхов и их неразложившихся остатков с примесью фрагментов отмерших трав и корней, мощность до 15 см. Торфяной горизонт T1 окрашен в желтовато-бурый цвет. Горизонт сложен торфом низкой и средней степени разложения. Мощность торфяника на территории исследований около 5 м.

¹ Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, серия Природа и Экология. Ханты-Мансийск. 2004. Москва, Ханты-Мансийск, 152 с.

² Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, серия Природа и Экология. Ханты-Мансийск. 2004. Москва, Ханты-Мансийск, 152 с.

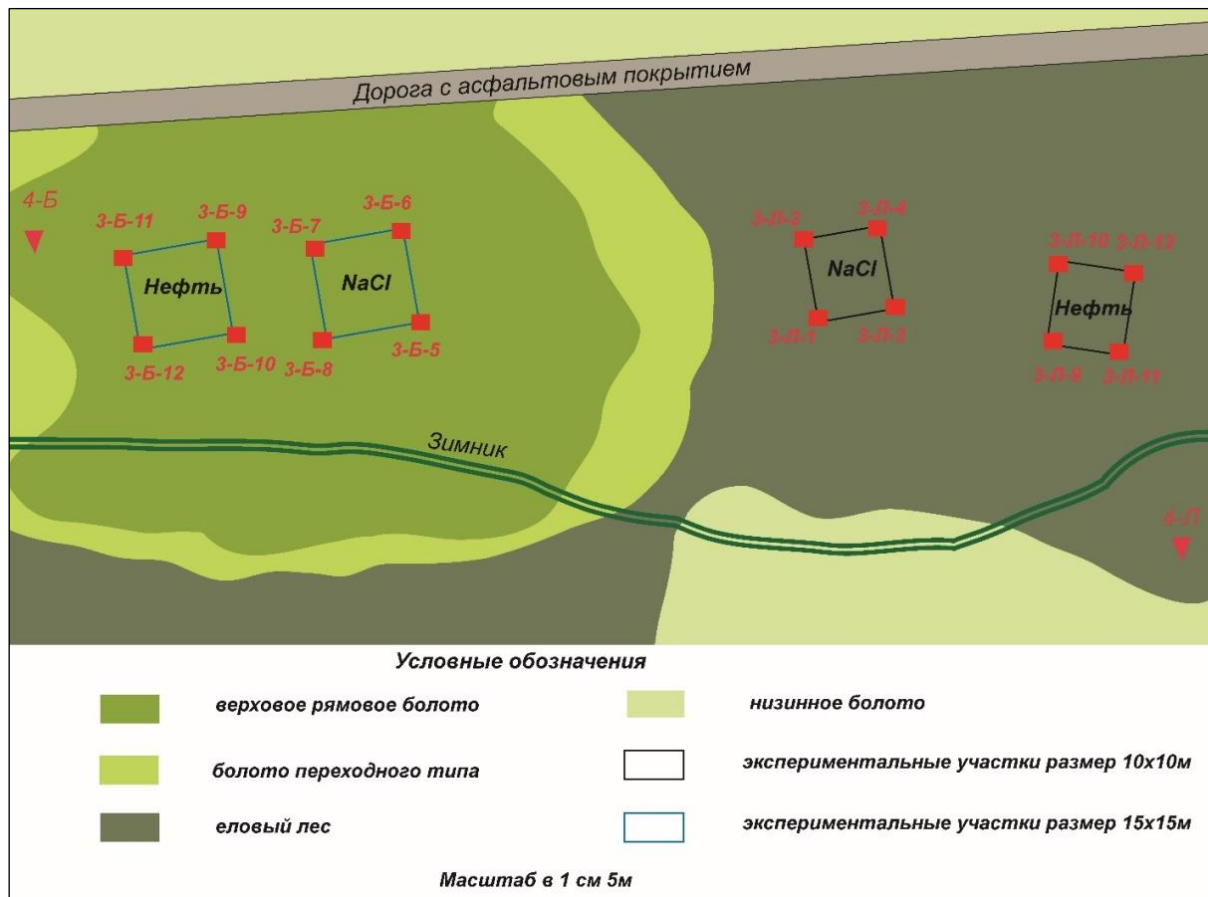


Рис. 2. Схема эксперимента по моделированию воздействия нефти и высокоминерализованных вод на лесные и болотные экосистемы
Fig. 2. Map of experiment to model the impact of oil and highly mineralized water on forest and marsh ecosystems.

Таблица 1
Table 1

Схема эксперимента по моделированию воздействия нефти и высокоминерализованных вод на лесные и болотные экосистемы
An experiment to simulate the effects of oil and high-mineralities water on forest and marsh ecosystems

Загрязнители	Размеры площадки (заливки)	Кол-во экспериментов	Схема эксперимента
Вариант «NaCl» Хлоридно-натриевый раствор: 500 г NaCl на 5 л воды для слоя почвы 10 см – 100 г/кг	20 × 25 см	Торфяно-подзолисто-глиевые – 4 площадки (заливки) – срок 7 дней – 4 повторности – 88 образцов. Торфяные болотные верховые – 4 площадки (заливки) – срок 7 дней – 4 повторности – 40 образцов	Заливается равномерно по всей площадке
Вариант «Нефть» Нефть: 5 л для слоя почвы 10 см – 1000 г/кг		Торфяно-подзолисто-глиевые – 4 площадки (заливки) – срок 7 дней – 4 повторности – 88 образцов. Торфяные болотные верховые – 4 площадки (заливки) – срок 7 дней – 4 повторности – 40 образцов	
		Итого: 16 заливок, 256 образцов	



Торфяные болотные верховые почвы отличаются очень высокой влагоемкостью. Валовое содержание Са, К и Р низкое (соответственно на сухую навеску 0,1–0,7; 0,03–0,08 и 0,03–0,2 %). Ненасыщенность основаниями высокая (50–90 %). Валового азота эти почвы содержат относительно много (0,55–2 % на сухую почву), но из подвижных его форм в почвах присутствует лишь обменный аммоний.

Торфяно-подзолисто-глеевые почвы формируются в елово-пихтовых, сосново-лиственных с примесью кедра заболоченных лесах с мохово-травяным и травяным наземным покровом на суглинистых отложениях. Морфологическое строение профиля: Т – ELg – ELBtg,n – Btg,n – BtCg – Cg (G). Профиль почв четко дифференцирован и состоит из оторфованной подстилки Т мощностью 20 см; элювиального горизонта белесого, бесструктурного с признаками оглеения и обильными железисто-марганцевыми конкрециями ELg,n; неоднородно окрашенного переходного горизонта ELBtg,n; оглеенного текстурного горизонта Btg,n грязно-бурого цвета или мраморовидного, содержащего орштейны и характеризующегося наличием сизых и грязно-коричневых кутан на поверхности педов, который постепенно сменяется оглеенной пестроокрашенной в голубоватые, сизые и ржавые тона почвообразующей породой Cg (G).

В почвах экспериментальных площадок в рамках исследования воздействия различных загрязнителей определяли величину рН, общее содержание солей, содержание органического углерода, содержание битуминозных веществ, исследовался состав ионно-солевого комплекса. Кислотность водной вытяжки определялась с помощью прибора «Эксперт-рН». Для измерения общего содержания солей использовался лабораторный кондуктометр WTW inoLab Cond Level 1. Определение обменных кальция (Ca^{2+}) и магния (Mg^{2+}) проводилось путём комплексометрического титрования, основанного на образовании комплексных соединений – ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} с ЭДТА (трилоном Б, комплексоном III). Определение обменной кислотности почв или содержания обменных форм водорода (H^+) и алюминия (Al^{3+}) проводилось методом кислотно-основного титрования раствора солевой вытяжки почвы. В водной вытяжке определялась концентрация хлорид-ионов (Cl^-) argentометрическим титрованием (метод Мора), Ca^{2+} и Mg^{2+} , водорода (H^+) и алюминия (Al^{3+}) и содержание ионов натрия (Na^+) на пламенном спектрофотометре фирмы Odyssey. Содержание органического углерода (С) определялось методом бихроматного окисления, также известного как «метод мокрого озонения по Тюрину». Определение остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почве проводилось путем люминесцентно-битуминологического анализа с использованием люминесцентного осветителя «Луч-2» и «Флюората 02 – 2М» (для ясности в тексте использован не аналитический термин «нефтепродукты», а «битуминозные вещества»).

Результаты и их обсуждение

Территория среднего Приобья испытывает длительное техногенное воздействие, которое преимущественно связано с разливами нефти и сточных вод. В табл. 2 приведены аналитические данные по кислотности, содержанию солей и битуминозных веществ в нарушенных почвах Среднего Приобья, используемых для эксперимента. В эти почвы вносились сырая нефть (вариант «Нефть») и хлоридно-натриевый раствор (вариант «NaCl») с расчётом техногенной нагрузки 25 л загрязнителя на m^2 .

При внесении нефти в торфяные болотные верховые почвы рямовых болот (рис. 3, Б) и торфяно-подзолисто-глеевые почвы (рис. 3, Г) происходит увеличение содержания битуминозных веществ в верхней части почвенного профиля. За неделю углеводороды нефти начали движение вниз по профилю только в торфяных болотных верховых почвах рямовых болот, в борьбе за свободное поровое пространство с почвенно-грунтовыми водами. Соотношение количества битуминозных веществ между горизонтами: О – 64 %, Т1 – 35 %, оставшийся 1 % приходится на нижележащие горизонты.

Таблица 2
Table 2Содержание битуминозных веществ (БВ), солей и показатели pH
в незагрязненных почвах среднего Приобья
The content of bitumen, salts and pH in uncontaminated soils of the middle Priobya

Тип экосистемы	Почва	Глубина (см)	pH	Содержание солей (%)	БВ (мг/кг)
Елово-мелколиственный лес	Торфяно-подзолисто-глеевая	0(2)–10	3,84	0,19	75
Елово-мелколиственный лес	Торфяно-подзолисто-глеевая	10–22	3,96	0,01	55
Елово-мелколиственный лес	Торфяно-подзолисто-глеевая	22–33	4,13	0,01	108
Елово-мелколиственный лес	Торфяно-подзолисто-глеевая	33–90	3,50	0,01	28
Елово-мелколиственный лес	Торфяно-подзолисто-глеевая	90–110	3,93	0,00	100
Рямовое болото	Торфяная болотная верховая почва рямовых болот	0–15	4,52	0,01	< 0,005
Рямовое болото	Торфяная болотная верховая почва рямовых болот	15–25	4,05	0,007	< 0,006

В торфяно-подзолисто-глеевых почвах, заняв свободное поровое пространство в горизонте Т мощностью 20 см, битуминозные вещества продвинулись вниз по профилю до глубины 45 см. В более глубокие горизонты битуминозные вещества не поступили. Соотношение количества битуминозных веществ между горизонтами: Т – 83 %, ELg – 14 %, оставшиеся 3 % приходятся на нижележащие горизонты.

Содержание органического углерода в торфяных болотных верховых почвах (рис. 3, А) наиболее значительно снижается в верхней части почвенного профиля загрязненных хлоридно-натриевым раствором почв (вариант NaCl – 91–92 %), в сравнении с почвами, загрязненными нефтью (вариант «Нефть» – 96–97 %) и ненарушенными почвами (вариант «Фон» – 98–99 %). Хлорид натрия легко вступает в обменные реакции с почвенно-поглощающим комплексом (ППК) органогенных почв. За счет высоких сорбционных свойств торфа как субстрата, низкой вертикальной скорости движения болотных вод и низкого содержания гумусового вещества для соединения с катионом Na⁺, солевые аккумуляции, формируясь на поверхности, замещают органический углерод. В нефтезагрязненных торфах таких значительных отличий в содержании органического углерода от фона не наблюдается, так как нефть «консервирует» органический углерод, не давая возможности его выноса (96–97 % – вариант «Нефть», 98–99 % – вариант «Фон»).

Совершенно иная картина распределения органического углерода наблюдается в торфяно-подзолисто-глеевых почвах (рис. 3, В). Относительно высокая вертикальная скорость движения почвенно-грунтовых вод обеспечивает накопление органического углерода лишь в верхнем горизонте Т, а затем происходит вынос его вниз по профилю во всех вариантах опыта. Незначительное увеличение содержания органического углерода в сравнении с фоном наблюдается при внесении хлоридно-натриевого раствора («Вариант NaCl»). Гуминовые кислоты этих почв имеют возможность вступать в реакцию с хлоридно-натриевым раствором (в частности, с катионом Na⁺) и образовывать гуматы [Пиковский, 1993], увеличивая таким образом содержание органического углерода. При внесении нефти содержание органического углерода резко падает. Углеводороды нефти блокируют обменные реакции в горизонте Т.

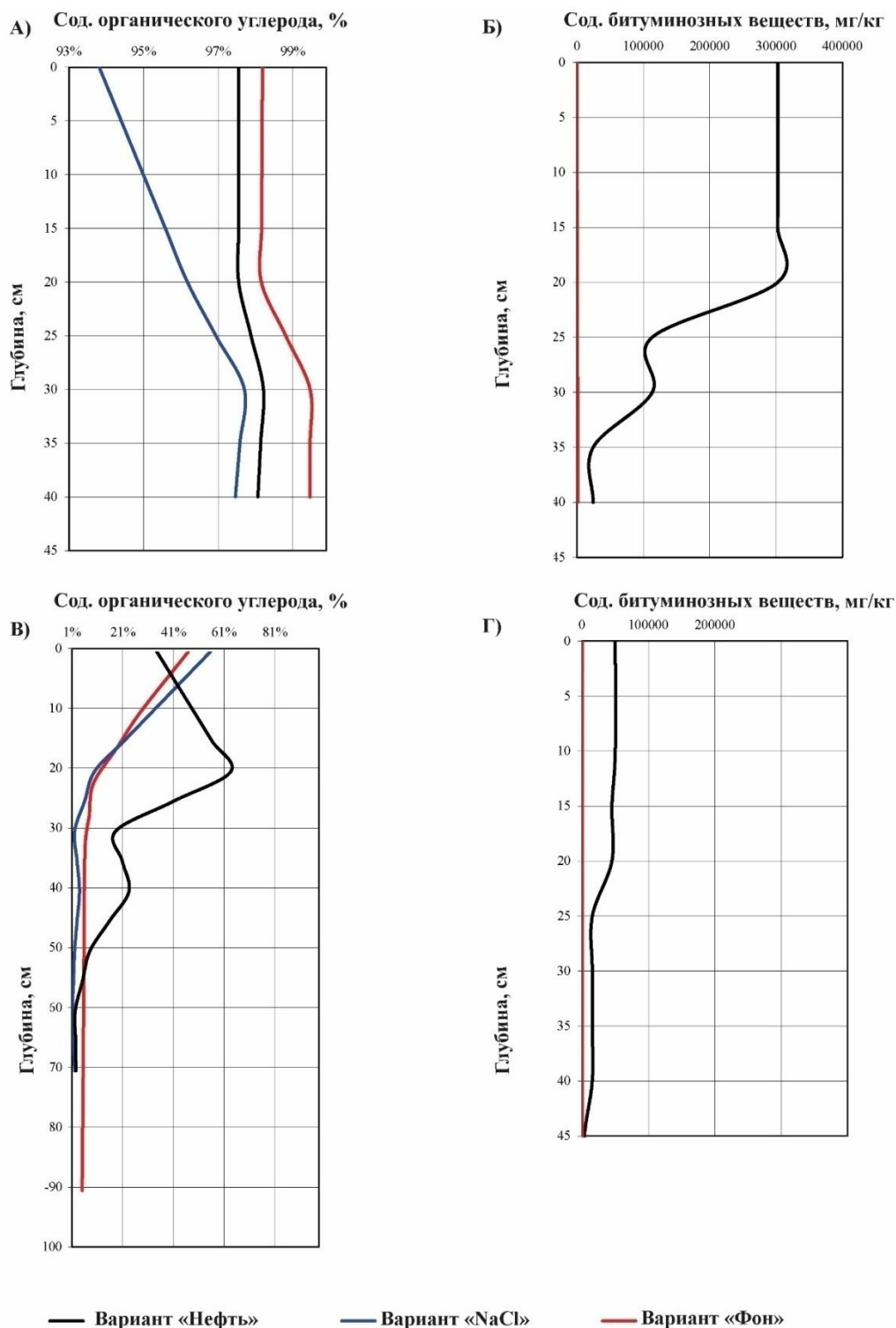


Рис. 3. Динамика изменения по почвенному профилю содержания органического углерода в % (А, В) и содержания битуминозных веществ в мг/кг (Б, Г): А, Б – для торфяных болотных верховых почв рямовых болот; В, Г – торфяно-подзолисто-глеевых почв (в фоновом состоянии – вариант «Фон»; при загрязнении хлоридно-натриевым раствором – вариант «NaCl», нефтью – вариант «Нефть»)

Fig. 3. Dynamics of change in soil profile of organic carbon content % (A, B) and petroleum products in mg/kg (Б, Г): А, Б – fibric histosols; В, Г – histy-gleyic albeluvisols (background state – "Fon" – red; contaminated with chloride-sodium solution – "NaCl" – blue and contaminated with oil – "Oil" – black)

В торфяных болотных верховых почвах и торфяно-подзолисто-глеевых поступление различных загрязнителей влияет на щелочно-кислотные свойства почв (рис. 4, А, В соответственно). Происходит подщелачивание среды в торфяных болотных верховых почвах (рис. 4, А) за счёт блокады тяжелыми фракциями насыщенных водородом обменных центров. Показатели рН достигают 5,0–5,2 (рис. 4, А). При поступлении потоков, содержащих легкорастворимые соли, происходит подкисление из-за вытеснения натрием обменного водорода и алюминия из ППК.

В торфяно-подзолистых почвах для минеральных горизонтов поступление техногенных углеводов (рис. 4, В), как и легкорастворимых солей, приводит к росту рН относительно фона. Подщелачивание среды обычно проявляется при всех типах воздействий на нефтепромыслах [Соромотин и др., 1996; Лисс и др., 2001; Савичев, 2009; Соромотин, 2010; Фоминых, 2013], в то время как в болотных почвах выявлено подкисление среды при воздействии солей. Данные различия в трансформации щелочно-кислотных условий свидетельствуют о ведущей роли углеводов в процессе подщелачивания болотных почв.

Количество солей резко увеличивается под воздействием хлоридно-натриевого раствора и достигает в среднем 3–4 % (рис. 4, Б и 4, Г). При одинаковых концентрациях солей наиболее активное засоление обнаруживается в почвах верховых рямовых болот. Так, при одинаковой концентрации солей в потоке их концентрация в торфах достигает 4–5 % (рис. 4, Б), в то время как в минеральных почвах не поднимается выше 2 % (рис. 4, Г), что обусловлено более высокой сорбционной способностью торфов. Чем выше гидроморфность ландшафта, тем ниже устойчивость техногенных солевых аккумуляций [Miller, 1981; Пиковский, 1993; Barrett, 2002; Леднев, 2007]. Устойчивость техногенных солевых аккумуляций в торфяных болотных верховых почвах значительно выше, чем в торфяно-подзолисто-глеевых почвах. Так, при разливе нефти в минеральных горизонтах происходит рассоление, а в органогенных – нет (рис. 4, Г и 4, Б соответственно).

В составе ионно-солевого комплекса торфяных верховых болотных почв преобладает H^+ и Al^{3+} (рис. 5, В), их содержание достигает 8 и 10 ммоль / 100 г соответственно. Аккумуляция минеральных солей наблюдается в торфяных верховых болотных почвах – в верхней части почвенного профиля (0–15 см), где идет вещественный обмен с приземной частью атмосферы и заметна деятельность почвенных микроорганизмов. Через неделю после поступления сырой нефти из верхних горизонтов ионы вытеснены углеводородами и аккумулируются на глубине 30–40 см. Среди катионов доминирующую роль играют Na^{2+} (10 ммоль / 100 г) как непосредственно входящий в состав пластовых вод на этой территории, Ca^{2+} (3 ммоль / 100 г) и Mg^{2+} (1 ммоль / 100 г) как компоненты болотных вод, которые активизируются при полностью вытесненных за неделю H^+ и Al^{3+} . Cl^- ион достигает значения 10 ммоль / 100 г, увеличиваясь в нижней части профиля.

При внесении хлоридно-натриевого раствора Na^{2+} начинает активно вытеснять H^+ из органических компонентов ППК (рис. 5, Б). Содержание Na^{2+} через неделю после внесения раствора достигает в верхних горизонтах 45 ммоль / 100 г. В составе ионно-солевого комплекса проявляются в небольших количествах Ca^{2+} (4 ммоль / 100 г) и Mg^{2+} (2 ммоль / 100 г) в ППК при вытесненном H^+ и Al^{3+} . Эти ионы типичны для данной территории, которая имеет гидрокарбонатный кальциевый и магниевый состав болотных вод [Леднев, 2007; Ронжина, Кречетов, 2013].

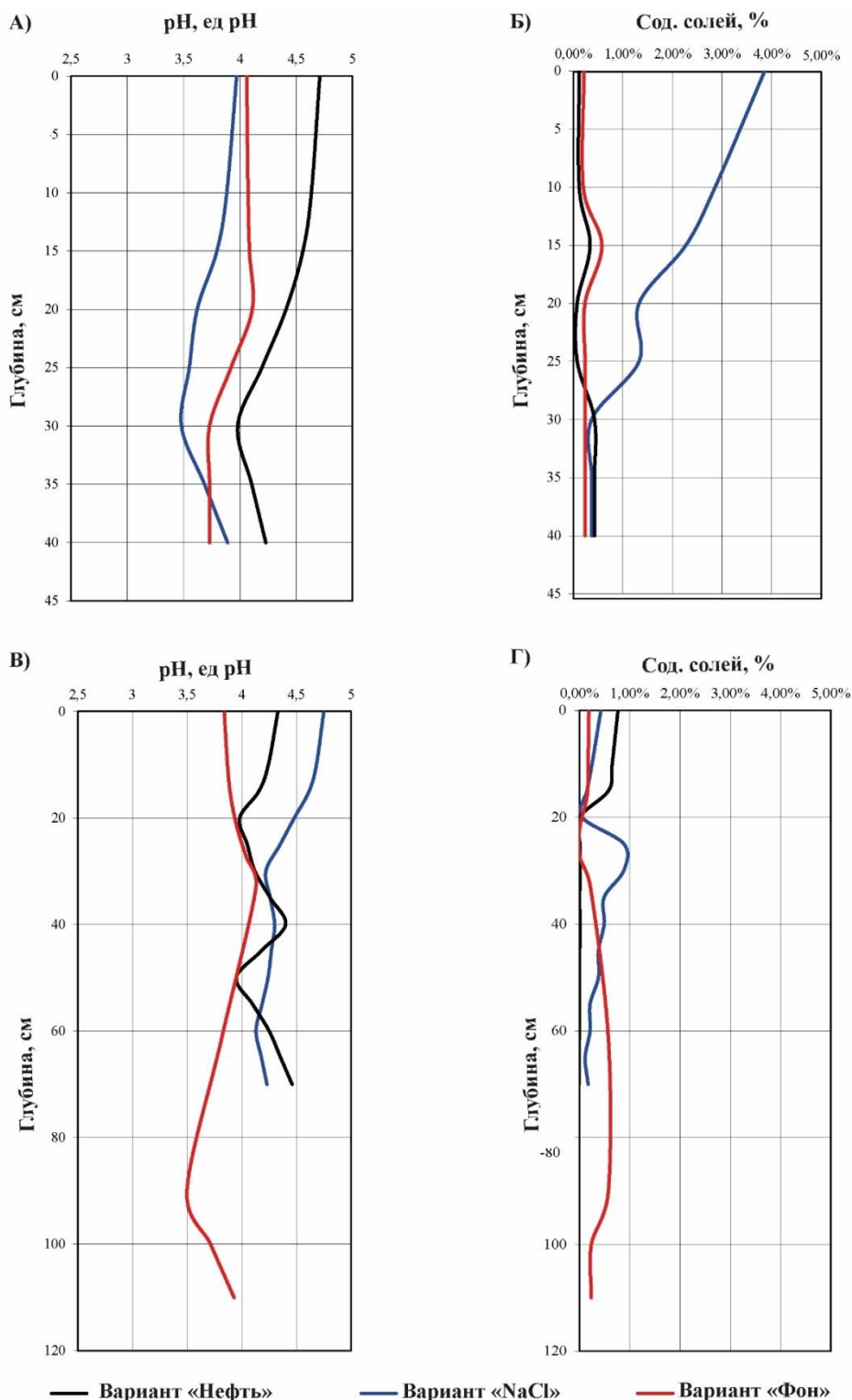


Рис. 4. Динамика изменения по почвенному профилю кислотности рН в ед. рН (А, В) и содержание солей в % (Б, Г): А, Б – для торфяных болотных верховых почв рямовых болот; В, Г – торфяно-подзолисто-глеевых почв (в фоновом состоянии – вариант «Фон»; при загрязнении хлоридно-натриевым раствором – вариант «NaCl», нефтью – вариант «Нефть»)
 Fig. 4. Dynamics of change in soil profile of pH acidity in pH (A, C) and salt content in % (B, D): A, B – fibric histosols; C, D – histy-gleyic albeluvisols (background state – "Fon" – red; contaminated with chloride-sodium solution – "NaCl" – blue and contaminated with oil – "Oil" – black)

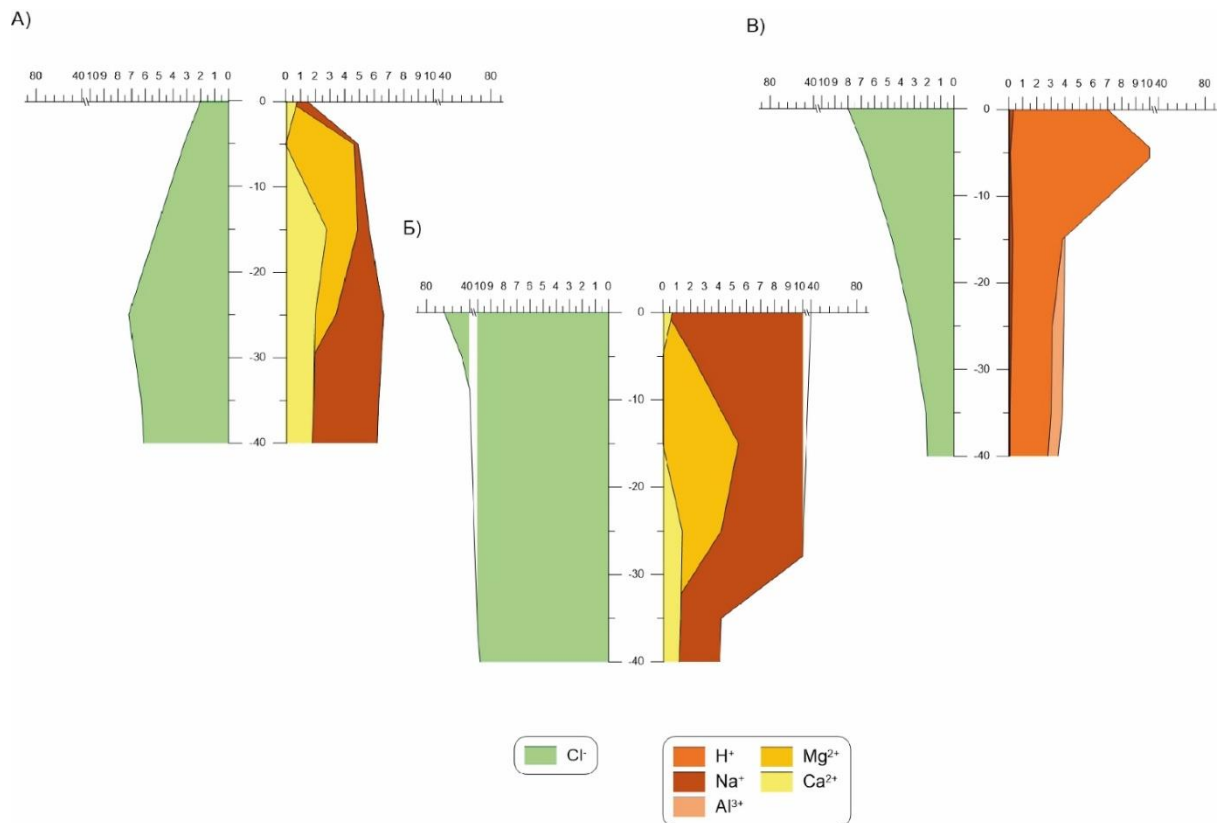


Рис. 5. Трансформация ионно-солевого комплекса (ммоль / 100 г) торфяных верховых болотных почв

Fig. 5. Transformation of the ion-salt complex (mmol/100 g) peaty marsh soils

Ионно-солевой комплекс торфяно-подзолисто-глеевых почв отличается крайне низким и достаточно равномерным по профилю содержанием катионов в ненарушенном состоянии (рис. 6, В). Через неделю после внесения сырой нефти ионно-солевой комплекс почв практически не изменился (рис. 6, А). Незначительно увеличилась доля Cl^- и Na^+ в верхней части почвенного профиля, что приурочено к аккумуляции загрязнителя. В торфяно-подзолисто-глеевых почвах при поступлении солевого раствора натрия за неделю не успевает вытеснить водород и алюминий (рис. 6, Б). Ca^{2+} (3 ммоль / 100 г) и Mg^{2+} (20 ммоль / 100 г) проявляются достаточно значимо. Na^{2+} (25 ммоль / 100 г), вытесняя H^+ и Al^{3+} , провоцирует активизацию Ca^{2+} и Mg^{2+} , которые в свою очередь входят в состав подземных вод в этом регионе западной Сибири (гидрокарбонатные кальциевые и магниевые воды [Леднев, 2007; Ронжина, Кречетов, 2013]). Причём, Mg^{2+} ведёт себя более активно, легко включаясь в органо-минеральные комплексы. Распределение солей в торфяно-подзолисто-глеевых почвах имеет аккумулятивный тип – максимальные содержания наблюдаются до глубины 40 см.

Таким образом, при одинаковой техногенной нагрузке содержание водорастворимого Na^{2+} в торфяных болотных верховых почвах достигает почвах 45 ммоль / 100 г (рис. 5, Б), а в загрязнённых торфяно-подзолисто-глеевых почвах не превышает 25 ммоль / 100 г (рис. 6, Б). Поступление нефти в исследуемые почвы находит отражение в ионно-солевом комплексе торфяных болотных верховых, а в ионно-солевом комплексе торфяно-подзолисто-глеевых почвах практически незаметно.

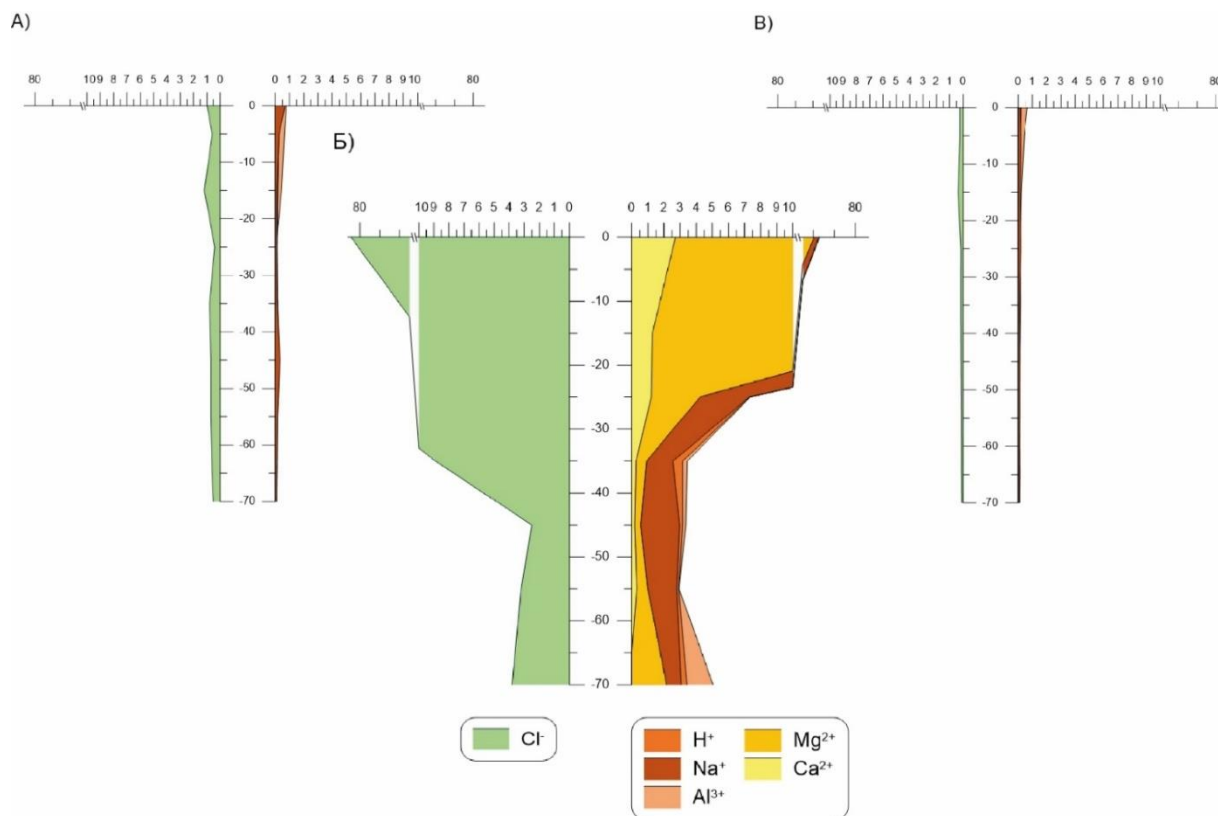


Рис. 6. Трансформация ионно-солевого комплекса (ммоль/100 г) торфяно-подзолисто-глеевых почв в их фоновом состоянии и при загрязнении хлоридно-натриевым раствором и нефтью
 Fig. 6. Transformation of the ion-salt complex (mmol/100 g) of turf-salt soils in their background and when contaminated with chloride-sodium solution and oil

Техногенный галогенез достаточно быстро развивается в почвах среднего Приобья. Это явление может быть связано как с поступлением солевых растворов в почвы, так и с разливами нефти.

Солевые аккумуляции в болотах, как правило, при натуральных наблюдениях приурочены к нижним горизонтам [Пиковский, 1993; Соромотин и др., 1996; Солнцева, 2002; Савичев, 2009; Фоминых, 2013], тогда как при экспериментальных исследованиях выявлено их расположение в верхних горизонтах через неделю после загрязнения. Следовательно, за неделю при техногенной нагрузке 25 л на 1 м² соли не выносятся вниз по профилю. Так, в торфяных верховых болотных почвах через неделю после поступления сырой нефти (расчетная нагрузка для верхних 10 см почвы – 1000 г/кг) наблюдается слабое хлоридно-натриевое засоление почв эллювиального типа распределения, хлоридно-натриевый раствор (расчетная нагрузка для слоя почвы 10 см – 100 г/кг) провоцирует образование техногенного солончака с аккумулятивным распределением солей. Ключевым фактором в развитии техногенного галогенеза является степень гидроморфизма.

Содержание солей при разливе нефти прямо пропорционально содержанию битуминозных веществ в торфяно-подзолисто-глеевых почвах, а в торфяных болотных верховых почвах – обратно пропорционально.

Заключение

Результаты модельного эксперимента показывают некоторые различия и сходства в геохимических следствиях загрязнения болотных и торфяно-подзолистых почв нефтью и

солевым раствором. Оценка различий в типах распределения вещества проведена по Б.Г. Розанову [1975].

При внесении нефти в болотные торфяные верховые почвы уже через неделю происходит увеличение содержания БВ по прогрессивно-аккумулятивному типу распределения. Органический углерод отличается недифференцированным распределением. В торфяных болотных верховых почвах происходит подщелачивание среды на несколько единиц за счёт беспрепятственной блокады тяжелыми фракциями насыщенных водородом обменных центров, вопреки общепринятым представлениям о слабом влиянии на щелочно-кислотные условия нефти в болотных почвах. В болотных почвах ионно-солевой комплекс после воздействия нефти остается неизменным относительно фона, за исключением незначительного увеличения содержания Cl^- и Na^+ в нижних торфяных горизонтах, что связано с насыщением почвенно-грунтовых вод соляным раствором.

В торфяно-подзолистых почвах при внесении нефти наблюдается подщелачивание среды примерно на одну единицу рН, что выглядит достаточно закономерно. В торфяно-подзолисто-глеевых почвах после внесения нефти органический углерод имеет регрессивно-аккумулятивный тип распределения. Увеличение содержания солей наблюдается более значительное, чем в болотных почвах при внесении сырой нефти. Доля Cl^- и Na^+ возрастает до 27 ммоль / 100 г и 25 ммоль / 100 г почвы соответственно.

При внесении солевого раствора через неделю в болотных торфяных верховых почвах наблюдается более значительное засоление, чем в торфяно-подзолистых, а также подкисление среды за счет лёгкого вытеснения натрием обменного водорода и алюминия из ППК. Содержание органического углерода отличается равномерно-элювиальным характером.

В торфяно-подзолисто-глеевых почвах происходит рост рН относительно фона и увеличение содержания солей в органогенных горизонтах. Содержание органического углерода имеет прогрессивно-аккумулятивный тип. Однако, через неделю после загрязнения наблюдается рассоление искусственно засоленных торфяно-подзолисто-глеевых почв.

Выявленные различия возможно учитывать при разработке нормативной документации в отношении предельно-допустимых концентраций загрязнителей нефтепромыслов и ранжировании торфяно-подзолистых и болотных почв средней тайги Западной Сибири по устойчивости к загрязнению, а также по методике рекультивации.

Таким образом, в торфяных верховых болотных и в торфяно-подзолисто-глеевых почвах рекультивационные работы можно проводить и через неделю после загрязнения пластовыми водами с целью препятствия техногенному галогенезу в верхних горизонтах. При работах с разливами нефти на торфяно-подзолисто-глеевых почвах не стоит рассчитывать на существенное засоление, в то время как при работе с торфяными болотными верховыми почвами, загрязненными нефтью, нужно обращать внимание и на содержание солей.

При разливах нефти необходимо ориентироваться на большую глубину проникновения углеводородов в торфяных верховых болотных почвах, нежели в торфяно-подзолисто-глеевых.

Список литературы

1. Бузмаков С.А., Башин Г.П. 2004. Метод оценки воздействия остаточных нефтепродуктов на почвы. География и природные ресурсы, 2: 119–122.
2. Бузмаков С.А., Егорова Д.О., Гатина Е.Л. 2017. Доза-эффект нефтезагрязнения почв на биотический компонент экосистем. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности, 25 (2): 217–229. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-2-217-229.
3. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов. 2002. Под. ред. Е.С. Мельникова, С.Е. Гречищева. М., ГЕОС, 402 с.



4. Леднев А.В. 2007. Влияние нефтеводосолевой эмульсии на степень засоления дерново-подзолистых почв. *Плodoreдие*, 4: 65–72.
5. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слукa З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. 2001. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула, Гриф и Ко, 584 с.
6. Пиковский Ю.И. 1993. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М., Изд-во МГУ, 208 с.
7. Ронжина Т.В., Кречетов П.П. 2013. Изменение кислотно-основного состояния почв в результате реализации механизмов геохимической буферности при импактном воздействии минерализованных вод на торфяно-подзолистые почвы. *Фундаментальные исследования*, 10: 1293–1296.
8. Савичев О.Г. 2009. Химический состав болотных вод на территории томской области (Западная Сибирь) и их взаимодействие с минеральными и органоминеральными соединениями. *Известия Томского политехнического университета*, 314 (1): 72–77.
9. Солнцева Н.П. 1998. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М., Изд-во МГУ, 376 с.
10. Солнцева Н.П. 2002. Принципы и методы экспериментального моделирования миграции и закрепления нефти и нефтепродуктов в почвах. В кн.: *Геохимия ландшафтов и география почв*. Под ред. Н.С. Касимовой, М.И. Герасимовой. Смоленск, Ойкумена: 65–90.
11. Соромотин А.В., Гашев С.Н., Казанцева М.Н. 1996. Солевое загрязнение таежных биоценозов при нефтедобыче в Среднем Приобье. *Проблемы географии и экологии Западной Сибири*, 121–131.
12. Соромотин А.В. 2010. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири. Тюмень, Изд-во Тюменского государственного университета, 320 с.
13. Фоминых Д.Е. 2013. Анализ эффективности работ по рекультивации засоленных земель Среднего Приобья. *Глобальный научный потенциал*, 8 (29): 83–85.
14. Barrett M.L. 2002. Saltwater waste and landscape change, Smackover Field, Arkansas. *Environmental Geosciences*, 9 (1): 17–28. DOI:10.1046/j.1526-0984.2002.91003.x.
15. Hendrickx J.M.H., Rodríguez-Marín G., Hicks R.T., Simunek J. 2005. Modeling study of produced water release scenarios. USA, API Publication, 125 p.
16. Miller C. 1981. Petroleum hydrocarbons in aquatic ecosystems behavior and effects of sub lethal concentrations. *Critical Review Environment Control*, 11 (2): 105–162.
17. Shen W., Zhu N., Cui J., Wang H., Dang Z., Wu P., Luo Y., Shi C. 2016. Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 124: 120–128. DOI:10.1016/j.ecoenv.2015.10.005.

References

1. Buzmakov S.A., Bashin G.P. 2004. Metod otsenki vozdeystviya ostatochnykh nefteproduktov na pochvy [Method for assessing the impact of residual oil products on soils]. *Geografiya i prirodnyye resursy*, 2: 119–122.
2. Buzmakov S.A., Egorova D.O., Gatina E.L. 2017. The Dose-Effect of Oil Pollution of Soils on the Biotic Component of Ecosystems. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (2): 217–229. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-2-217-229 (in Russian).
3. Vechnaya merzlota i osvoyeniye neftegazonosnykh rayonov [Permafrost and the development of oil and gas regions]. 2002. Ed. Ye.S. Mel'nikova, S.Ye. Grechishcheva. Moscow, Publ. GEOS, 402 p.
4. Lednev A.V. 2007. Vliyanie neftevodosolevoy emulsii na stepen zasoleniya dernovo-podzolistykh pochv [Influence of oil-water-salt emulsion on the degree of salinization of sod-podzolic soils]. *Plodorediye*, 4: 65–72.
5. Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A., Inisheva L.I., Kurnishkova T.V., Sluka Z.A., Tolpysheva T.Yu., Shvedchikova N.K. 2001. Bolotnyye sistemy Zapadnoy Sibiri i ikh prirodookhrannoye znacheniye [Swamp systems of Western Siberia and their nature conservation value]. Tuла, Publ. Grif i Ko, 584 p.



6. Pikovskiy Yu.I. 1993. Prirodnyye i tekhnogennyye potoki uglevodorodov v okruzhayushchey srede [Natural and technogenic flows of hydrocarbons in the environment]. Moscow, Publ. MGU, 208 p.
7. Ronzhina T.V., Krechetov P.P. 2013. Changes in Soil Acid-Base Composition as a Result of Geochemical Buffering Due to Highly Mineralized Water Impact on Spod-Podzolic Soils. *Fundamental Research*, 10: 1293–1296 (in Russian).
8. Savichev O.G. 2009. Chemical Composition of Bog Waters of Tomsk Region (Western Siberia) and Interaction with Mineral and Organic-Mineral Compounds. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 314 (1): 72–77 (in Russian).
9. Solntseva N.P. 1998. Dobycha nefiti i geokhimiya prirodnykh landshaftov [Oil production and geochemistry of natural landscapes]. Moscow, Publ. MGU, 376 p.
10. Solntseva N.P. 2002. Printsipy i metody eksperimental'nogo modelirovaniya migratsii i zakrepleniya nefiti i nefteproduktov v pochvakh [Principles and methods of experimental modeling of migration and fixation of oil and oil products in soils]. In: *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv* [Geochemistry of landscapes and geography of soils]. Ed. N.S. Kasimova, M.I. Gerasimova. Smolensk, Publ. Oykumena: 65–90.
11. Soromotin A.V., Gashev S.N., Kazantseva M.N. 1996. Solevoye zagryazneniye tayezhnykh biotsenozov pri neftedobyche v Srednem Priobye [Salt pollution of taiga biocenoses during oil production in the Middle Ob region]. *Problemy geografii i ekologii Zapadnoy Sibiri*, 121–131.
12. Soromotin A.V. 2010. Vozdeystviye dobychi nefiti na tayezhnyye ekosistemy Zapadnoy Sibiri [Impact of oil production on taiga ecosystems of Western Siberia]. Tyumen, Publ. Tyumen State University, 320 p.
13. Fominyh D.E. 2013. Efficiency Analysis of Reclamation of Saline Land in the Oil Fields of the Middle Ob. *Global Journals*, 8 (29): 83–85 (in Russian).
14. Barrett M.L. 2002. Saltwater waste and landscape change, Smackover Field, Arkansas. *Environmental Geosciences*, 9 (1): 17–28. DOI:10.1046/j.1526-0984.2002.91003.x.
15. Hendrickx J.M.H., Rodriguez-Marín G., Hicks R.T., Simunek J. 2005. Modeling study of produced water release scenarios. USA, API Publication, 125 p.
16. Miller C. 1981. Petroleum hydrocarbons in aquatic ecosystems behavior and effects of sub lethal concentrations. *Critical Review Environment Control*, 11 (2): 105–162.
17. Shen W., Zhu N., Cui J., Wang H., Dang Z., Wu P., Luo Y., Shi C. 2016. Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 124: 120–128. DOI:10.1016/j.ecoenv.2015.10.005.

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Двуреченская Елена Борисовна, научный сотрудник кафедры Геохимии ландшафтов и географии почв МГУ им. М.В. Ломоносова, ответственный секретарь Московского городского отделения «Русского географического общества», Москва, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Elena B. Dvurechenskaya, researcher, department Geochemistry of landscapes and geography of soils, Moscow State University M.V. Lomonosov, Executive Secretary of the Moscow City Branch of the "Russian Geographical Society", Moscow, Russia