

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 504.064:57.045

ВЛИЯНИЕ УГЛЕВОДОРОДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ ТЕРРИТОРИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЗУНБАЯН (ВОСТОЧНАЯ МОНГОЛИЯ)© 2023 г. Л. А. Гаретова^{1,*}, Г. В. Харитонов¹, Е. Л. Имранова¹¹Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
ул. Дикопольцева, 5б, Хабаровск, 680000 Россия

*E-mail: micro@iver.as.khb.ru

Поступила в редакцию 11.02.2023 г.

После доработки 30.03.2023 г.

Принята к публикации 14.04.2023 г.

Представлены данные по гранулометрическому составу, содержанию углеводов, их молекулярному составу и численности микроорганизмов в почвах участка нефтедобычи Дзунбаян (Восточная Гоби, Монголия). Доминирующей литологической фракцией в исследованных почвах являются частицы с размером 2–20 мкм (99.5–99.8%). Показано, что по химическому составу почвы являются осолоненными со щелочными значениями pH. Исследование молекулярно-группового состава *n*-алканов выявило доминирование (66.3–79.2% от суммы *n*-алканов) длинноцепочечных гомологов, находящихся на различной стадии физико-химического и микробиологического выветривания. Микробное сообщество почв по ряду признаков характеризуется высокой степенью адаптации к условиям аридной зоны, солёности, высоким значениям pH. Доля нефтеокисляющих бактерий (НОБ) составляла 12.6–18.9% от общей численности гетеротрофов (ОЧГ), что соответствует высокой адаптационной способности сообщества к углеводородам (УВ).

Ключевые слова: Монголия, почвы, нефтедобыча, гранулометрический состав, засоление, загрязнённость, нефтяные углеводороды, *n*-алканы, бактерии

DOI: 10.31857/S0869780923030037, EDN: WMITLW

ВВЕДЕНИЕ

В районах добычи углеводородного сырья механические воздействия на почвы и химическое загрязнение часто проявляются совместно и в различных сочетаниях. В процессе нефтедобычи выделяются три основные группы загрязнителей почв и среды: нефть – непосредственный продукт добычи; поллютанты и растворы, применяемые в процессе добычи; газообразные продукты рассеяния, загрязняющие атмосферу и почвенный воздух [9]. При бурении основные потоки загрязнителей преимущественно связаны с буровыми растворами, шламами и реагентами, воздействующими на прилегающую территорию. Среди реагентов применяются разжижители, термостабилизаторы, эмульгаторы, утяжелители, кислоты, ПАВ, растворы хлорида натрия и др.; буровые растворы, используемые на месторождениях, – пресные и солёные (до 3 г/дм³) жесткие хлоридные кальциево-натриевые [21, 33, 44]. Основную нагрузку от этих потоков принимают на себя почвы, поверхностные и подземные воды. Сырые, содержащие пластовые жидкости нефти представляют собой сложные смеси, состоящие из большого

числа углеводородов разнообразного состава (метановых, нафтеновых, ароматических и др.) и высокомолекулярных смолисто-асфальтеновых веществ [24, 25]. В научной литературе эти углеводородистые смеси нередко собирательно именуется “нефтепродуктами”, “техногенными углеводородами”, “нефтяными углеводородами”, “битуминозными веществами” или просто “углеводородами” (УВ) вне зависимости от их происхождения. Определение устойчивости фракций нефти к биологической деградации является важным теоретическим и практическим вопросом [15, 28, 29, 36, 47]. К группе высокочувствительных к окислению соединений относятся *n*-алканы и *изо*-алканы, которые могут быть подвержены микробиологической деградации до 80–100% от исходного содержания компонентов [15].

Важнейшие следствия углеводородного загрязнения почв – это изменения их физико-химических характеристик. Во всех природных условиях наблюдается трансформация почвенного поглощающего комплекса и подщелачивание. В нефтезагрязнённых почвах возникают разнонаправленные процессы, с одной стороны – физи-

ко-химическая и биологическая деструкция нефтяных углеводородов, а с другой – взаимодействие нефти и нефтепродуктов с почвенными органическими соединениями и минеральными компонентами [1, 17, 31, 40]. Доминирование процессов деструкции УВ нефти зависит от микробиологической активности и окислительно-восстановительных свойств почв [16].

Несмотря на большое количество работ по микробиологии нефтезагрязненных почв, данных о чувствительности и устойчивости разных групп почвенных организмов к воздействию нефти и НП до сих пор недостаточно [28]. Известно, что при нефтяном загрязнении почвы происходит резкое изменение численности, видового состава бактериального сообщества, а также продолжительности их активного функционирования в верхних горизонтах профиля [36].

В сфере влияния техногенных потоков УВ в любых физико-географических условиях происходит превращение исходных почв (минеральных и органогенных) автономных и подчиненных ландшафтов в техногенно-обусловленные модификации, обладающие сочетанием свойств, которые практически не встречаются в условиях зонального почвообразования. Так, в лесостепных и степных ландшафтах под воздействием нефти и НП формируются техногенно-засоленные и осолонцованные серые лесные почвы и черноземы, а также хемочерноземы битуминозные [6]. В полупустынной и пустынной зонах почвы бурые, серо-бурые, солонцы, солончаки, лугово-бурые и аллювиальные замещаются техногенными битуминозными почвами с сильным поверхностным засолением [20].

Территория Монголии вследствие своего географического положения имеет засушливый и холодный климат, характерный для среднеширотного высокогорья и отличается дефицитом влажности. Толщина увлажненного слоя почвы редко превышает 20–30 см [5, 34, 46]. Снежный покров очень незначительный, поэтому зимой почвы полностью промерзают. Из-за континентального климата как внутригодовые, так и суточные колебания температуры экстремальные. Колебания могут достигать 30°C в один день, а разница в средних значениях между низкой температурой зимой и высокой температурой лета свыше 50°C (в отличие от Европы, где эта величина составляет 25°C [38]). Засоленные почвы мозаичны, их площадь около 10.5% [18]. Они генетически связаны с древними накоплениями солей и/или с процессами современного соленакопления, приуроченными к геохимически подчиненным гидроморфным ландшафтам [39, 41].

Месторождение Дзунбаян расположено в юго-восточной части Монголии (провинция Восточная Гоби), в 440 км к востоку от Улан-Батора.

Оно принадлежит центральной части Дзунбаянской депрессии и находится на высоте 760 м над уровнем моря. За время эксплуатации, начиная с 1990-х годов прошлого века на Дзунбаянском месторождении пробурено свыше 200 скважин глубиной до 3 км. Были установлены новые структуры, благоприятные для скоплений нефти и газа. Нефть месторождения Дзунбаян по своим физико-химическим свойствам очень вязкая, тяжелая, с высоким содержанием смолистых компонентов и парафинов; выход светлых фракций всего 5–6%, твердых УВ не менее 11% [35].

Исследования, затрагивающие аспекты поведения в почвах различных групп техногенных УВ, в том числе и широкой гаммы индивидуальных *n*-алканов, представляют как теоретический, так и практический интерес [4, 13, 23–25]. Среди нефтяных компонентов наиболее изученными являются насыщенные УВ, сохранившие черты исходных биомолекул – *n*-алканы, в то же время их поведение в почвах районов нефтедобычи изучено слабо.

Целью данной работы являлась оценка состояния почв в районе месторождения Дзунбаян, их литологического и углеводородного состава, а также состояния почвенных микробных комплексов, участвующих в процессах самоочищения почв от поллютантов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследования находится в 45 км на юг от г. Сайшанды (Восточно-Гобийский аймак). Площадь разведочного участка месторождения Дзунбаян составляет 5321 км², эксплуатационная площадь – 239.5 м². Пробы почв отбирали вокруг обвалованного участка эксплуатационной скважины на расстоянии 2.0 м (северной, восточной и западной ориентации), 5.0 и 30.0 м от южной границы его периметра. Отбор образцов почв и их химический анализ осуществлялись в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-2017 [7].

Для химических и микробиологических анализов отбирали пробы почв (0.5 кг) с глубины 0–20 см. Для гранулометрического анализа образцы грунта, высушенные до воздушно-сухого состояния, растирались в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником и пропускались через сито с размером ячеек 2 мм. Размерный состав данной фракции почв изучали методом лазерной дифракции на приборе SALD-2300 (Wing SSALD II: Version 3.0.7. Shimadzu (Япония). Определение pH, удельной электропроводности (УЭП) и солёности (S) осуществляли в почвенной вытяжке в соотношении почва/дистиллированная вода = 1/5. Определение параметров производили с помощью измерителя комбинированного Seven Multi S-47k, Mettler-Toledo (Швейцария).

Таблица 1. Физико-химические характеристики почв на территории месторождения Дзунбаян

| № образца | Расстояние, м ориентация | Описание образца | УВ, мг/кг | Водная вытяжка | | |
|-----------|--------------------------|----------------------------------|-----------|-----------------------|------|-----------------|
| | | | | УЭП, См/см | pH | соленость, епс* |
| M1 | 2 – юг | Глинисто-песчаный, желтый | 60 | 3.09 | 8.15 | 1.63 |
| M2 | 2 – восток | Глинисто-песчаный, ярко-желтый | 58 | 4.50×10^{-3} | 8.15 | 2.37 |
| M3 | 2 – запад | Глинисто-песчаный, желтый | 53 | 2.68×10^{-3} | 8.16 | 1.41 |
| M4 | 5 – север | Песчано-глинистый, светло желтый | 15 | 7.39×10^{-8} | 8.67 | 0.30 |
| M5 | 30 – север | Песчанистый, светло-желтый | 9 | 3.17×10^{-8} | 8.16 | 0.13 |

* – единицы практической солёности.

Определение массовой доли нефтепродуктов (НП) в почвах выполняли по методике [26]. Фракцию УВ выделяли экстракцией четыреххлористым углеродом (тетрахлорметан, CCl_4), очищали от сопутствующих полярных соединений на колонке с оксидом алюминия 2-й степени активности по Брокману. Измерения проводили на концентратометре КН-2 (Сибэкоприбор, Россия). Элюаты CCl_4 использовали для хроматографического определения молекулярного состава и содержания *n*-алканов и *изо*-алканов, который осуществляли методом капиллярной газовой хроматографии на газовом хроматографе Кристалл 5000.1 (Хроматэк, Россия), оснащённом пламенно-ионизационным детектором при программировании температуры от 60 до 320°C (скорость 7°/мин, длина колонки 30 м, жидкая фаза ZB-5). Хроматографические анализы выполняли в ЦКП ИВЭП “Центр экологического мониторинга” (аналитик Г.М. Филиппова).

Для учета численности микроорганизмов применяли следующие среды: разбавленный в 10 раз рыбопептонный агар – для общей численности гетеротрофных бактерий (ОЧГ); крахмало-аммиачный агар – для бактерий, усваивающих минеральный азот и актиномицетов; среду Раймонда с нефтью – для нефтеокисляющих бактерий (НОБ). Результаты подсчета выражали в численности колониеобразующих единиц (КОЕ) микроорганизмов в 1 г абсолютно сухой почвы [27].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Физико-химические параметры почв

Исследованная территория представляет собой чрезвычайно нарушенную природную систему с максимальной степенью деградации почвенного покрова. В табл. 1, 2 представлены физико-химические характеристики исследованной почвы. Известно, что УЭП коррелирует с такими свойствами почв, как емкость катионного обмена почвы,

содержание органического вещества (ОВ), степень засоления.

В исследованных образцах УЭП водной вытяжки варьировала более значительно, чем pH. Максимальные ее значения выявлены в образце M1, где УЭП составляла 3.09 См/см, по мере удаленности от скважины величина УЭП снижалась до 3.17×10^{-8} См/см на расстоянии 30 м. По всей видимости, такое изменение величины УЭП демонстрирует снижение содержания НУ в почве и ее солёности. Величина pH водной вытяжки характеризовалась щелочной реакцией и варьировала от 8.15 до 8.67, что характерно для данного типа почв. Солёность водной вытяжки исследованных образцов почв составляла от 0.13 до 2.37‰. По установленной градации [2, 18] образцы почвы M1, M2 и M3 относятся к сильно засоленным, образец M4 – слабозасоленным, а почва M5 – незасоленная, т.е. по мере удаления от буровой скважины степень засоления почвы уменьшалась. Вероятно, такой разброс в солёности близко расположенных точек отбора проб обусловлен как первичным осолонением почв, так и воздействием буровых растворов. Известно, что в перспективе при хроническом нефтяном загрязнении почвы полупустынной и пустынной зон

Таблица 2. Гранулометрический состав почв месторождения Дзунбаян

| № образца | Размер фракций, мкм | | | | |
|------------------------------|---------------------|-------|-------|--------|----------|
| | <2 | 2–20 | 20–50 | 50–200 | 200–2000 |
| Гранулометрический состав, % | | | | | |
| M1 | 0.00 | 99.75 | 0.16 | 0.09 | 0.00 |
| M2 | 0.00 | 99.74 | 0.22 | 0.04 | 0.00 |
| M3 | 0.00 | 99.69 | 0.22 | 0.10 | 0.00 |
| M4 | 0.00 | 99.88 | 0.02 | 0.08 | 0.01 |
| M5 | 0.00 | 99.54 | 0.21 | 0.24 | 0.01 |

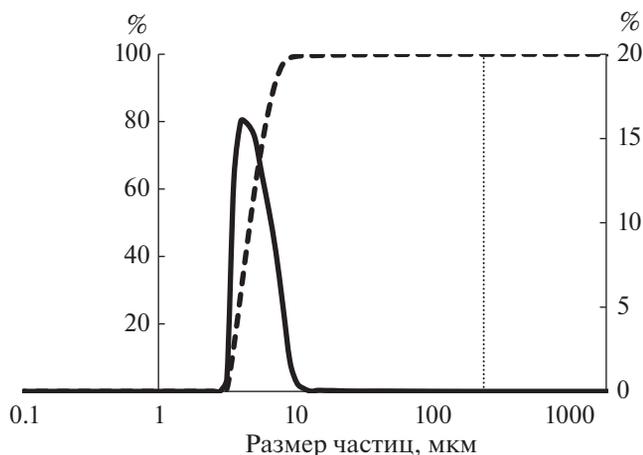


Рис. 1. Распределение частиц по размеру в усредненном образце почвы месторождения Дзунбаян: левая ось ординат – процент частиц для кумулятивных кривых; правая ось ординат – процент частиц для дифференциальных кривых.

бурые, серо-бурые, солонцы, солончаки, лугово-бурые и аллювиальные почвы замещаются техногенными битуминозными почвами с сильным поверхностным засолением [20].

По результатам анализа все исследованные образцы имели крутые кумулятивные кривые, свидетельствующие о хорошей дифференциации частиц и мономодальном их распределении (рис. 1, табл. 2). В составе почв доминирует (99,5–99,8%) пылевая фракция с размером частиц 2–20 мкм. Почвы песчано-пылеватого состава характеризуются высокими адсорбционными свойствами и обладают повышенной нефтеемкостью, а глубина максимально возможного просачивания нефти в таких почвах достигает 8,5 м [6, 8].

Гигиеническое нормирование содержания нефтяных углеводородов в почве связано в основном с миграционно-воздушными и общесанитарными показателями вредности. Безопасной концентрацией НП в почвах и грунтах считается 1 г/кг [3, 6, 30]. При этом в большинстве случаев

Таблица 3. Групповой углеводородный состав нефти месторождения Дзунбаян [35]

| Тип углеводородов | Содержание, мас. % в нефти месторождения |
|---|--|
| Алканы (нормальные, изоалканы) | 24.90 |
| Нафтены (моно-, би-, три-, тетра- и пентацикланы) | 35.84 |
| Арены (моно-, би-, три-, тетра- и пентаарены) | 29.67 |
| Отношение алканы/нафтены | 0.69 |

определяется лишь суммарное содержание НП без учета их природы и качественных характеристик.

Содержание НП в почвах варьировало от 9 до 60 мг/кг при максимальном содержании в образцах, отобранных на расстоянии 2 м от скважины. По данным Ю.И. Пиковского [22], содержание НП в почве (мг/кг): до 100 соответствует “фоновой” концентрации, 100–500 – “повышено фоновой”, 500–1000 – “умеренный уровень” загрязнения, 1000–2000 – “умеренно опасное” загрязнение, 2000–5000 – “сильное” загрязнение, более 5000 – “опасное” загрязнение. В соответствии с этой градацией содержание НП в исследованных образцах почв определяется как фоновое значение. В то же время предлагаются и более жесткие градации содержания УВ. Согласно [32], по содержанию УВ (мг/кг сухого грунта) почвы могут быть разделены на: чистые – 0–5,5, слабо загрязненные – 5,5–25,5, умеренно загрязненные – 25,6–55,5, загрязненные – 55,6–205,5, грязные – 205,6–500, очень грязные – >500. В соответствии с этой градацией почвы, отобранные на удалении от эксплуатационной скважины (М4 и М5), относятся к слабозагрязненным, М3 – к умеренно загрязненным, а почвы вблизи скважины (М1 и М2) являются загрязненными УВ.

Содержание и молекулярный состав алифатических углеводородов

Исследование молекулярного состава алифатических УВ (АУВ), или *n*-алканов, дает представление об их поведении в почвах, генетической принадлежности и диагенетических превращениях, позволяет провести первичную дифференциацию природных и антропогенных источников УВ [4, 43, 45].

Групповой углеводородный состав нефти месторождения Дзунбаян, определенный по результатам масс-спектрометрического анализа [35], показал, что в ее составе нафтеновые УВ преобладают над алканами и аренами (табл. 3).

Содержание *n*-алканов в сырой нефти не превышает 25%. Состав *n*-алканов представлен гомологическим рядом соединений состава от C_9 до C_{41} и характеризуется повышенными концентрациями *n*-алканов от C_{15} до C_{24} . Абсолютные максимумы приходятся на C_{15} , C_{17} и C_{19} , что может свидетельствовать об участии органического вещества морской природы в формировании состава нефти [35].

Содержание *n*-алканов, выделенных из образцов почв, составляет от 2,14 до 3,05 мг/кг, при максимальном содержании в почве близлежащего разреза (М1) с наибольшим содержанием УВ (табл. 4).

Таблица 4. Относительное групповое содержание *n*-алканов в почвенных образцах

| Компоненты | № образца | | | | |
|--|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 |
| Содержание <i>n</i> -алканов, мкг/г | 3.05 | 2.44 | 2.14 | 2.20 | 2.21 |
| Диапазон идентифицированных гомологов | C ₁₉ –C ₃₉ | C ₁₅ –C ₄₀ | C ₂₀ –C ₃₇ | C ₂₀ –C ₃₇ | C ₂₀ –C ₃₉ |
| Содержание, % от общей площади пиков | | | | | |
| C ₁₉ | 19.63 | – | – | – | – |
| C ₂₀ | – | 3.79 | 4.81 | 5.68 | 4.92 |
| C ₂₁ | 5.66 | – | – | 4.29 | – |
| C ₂₂ | – | 3.71 | 7.35 | 8.52 | 6.32 |
| C ₂₃ | – | 3.87 | 5.90 | 5.65 | – |
| C ₂₄ | 3.47 | 4.15 | 3.69 | 3.73 | 4.96 |
| C ₂₅ | – | 5.28 | 5.26 | 5.81 | 4.34 |
| C ₂₆ | 3.47 | 6.09 | 6.15 | 10.25 | 6.05 |
| C ₂₇ | 5.48 | 4.94 | 6.19 | 6.46 | 6.57 |
| C ₂₈ | – | 3.16 | 5.72 | 3.68 | – |
| C ₂₉ | 6.55 | 4.68 | 2.74 | 3.93 | 4.95 |
| C ₃₀ | 6.59 | 4.62 | 3.97 | 5.54 | 5.27 |
| C ₃₁ | 7.06 | 5.76 | 5.05 | 3.29 | 8.21 |
| C ₃₂ | 6.73 | 6.89 | 6.89 | 5.80 | 6.05 |
| C ₃₃ | – | – | – | – | – |
| C ₃₄ | 7.17 | – | 8.04 | 5.46 | 7.11 |
| C ₃₅ | 7.06 | 5.11 | 8.80 | 5.82 | 6.91 |
| C ₃₆ | 7.73 | 6.41 | 9.01 | 7.92 | 8.65 |
| C ₃₇ | 7.12 | 9.24 | 10.34 | 8.12 | 10.44 |
| C ₃₈ | – | – | – | – | – |
| C ₃₉ | 5.03 | 8.25 | – | – | 9.25 |
| C ₄₀ | – | 8.52 | – | – | – |
| ΣC ₁₉ –C ₂₅ , % | 28.76 | 20.80 | 27.01 | 33.68 | 20.54 |
| ΣC ₂₆ –C ₄₀ , % | 71.24 | 79.21 | 73.00 | 66.32 | 79.46 |
| ΣC ₂₇ , C ₂₉ , C ₃₁ , % | 19.09 | 15.38 | 13.99 | 13.68 | 19.74 |
| СРІ | 1.80 | 1.09 | 0.82 | 0.77 | 1.03 |
| ОЕР _{C₂₇} | 1.58 | 0.53 | 0.53 | 0.46 | 1.09 |
| ОЕР _{C₂₉} | 0.99 | 0.60 | 0.28 | 0.43 | 0.94 |
| ОЕР _{C₃₁} | 0.53 | 0.50 | 0.46 | 0.29 | 0.73 |
| ОЕР _{C₃₅} | 0.47 | 0.80 | 0.51 | 0.44 | 0.44 |
| ОЕР _{C₃₇} | 0.92 | 1.44 | 1.15 | 1.03 | 1.21 |

“–” – не обнаружено (ниже чувствительности прибора).

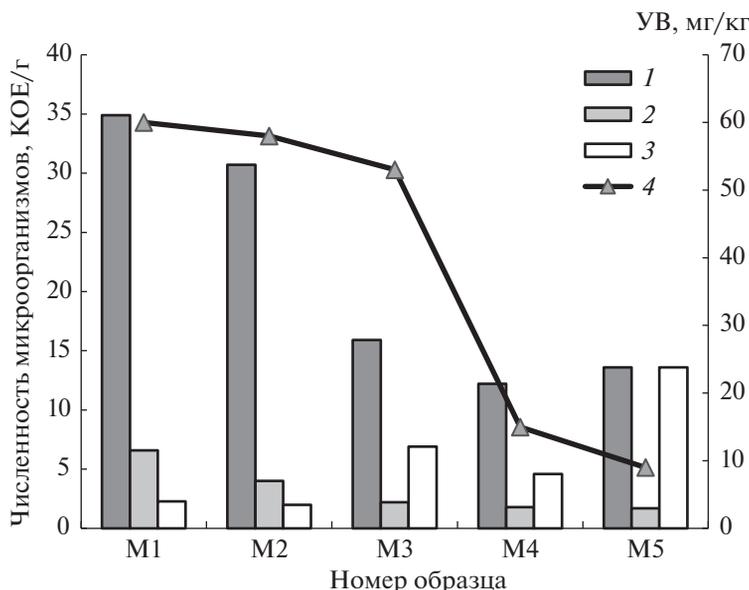


Рис. 2. Численность микроорганизмов в почве месторождения Дзунбаян: 1 – общая численность гетеротрофных бактерий (ОЧГ), млн КОЕ/г; 2 – численность нефтеокисляющих бактерий (НОБ), млн КОЕ/г; 3 – численность актиномицетов, тыс КОЕ/г; 4 – содержание углеводов в почве, мг/кг.

В молекулярном составе *n*-алканов доминируют длинноцепочечные гомологи – от 66.32 до 79.46% от суммы *n*-алканов. Доля среднемолекулярных соединений $\Sigma C_{19}-C_{25}$, характеризующих вклад микробно-деструктивной составляющей в общую сумму УВ, варьировала от 20.54 до 33.68%. Доля УВ терригенного генезиса $\Sigma C_{27}, C_{29}, C_{31}$ невелика (13.68–19.74% от общей суммы).

Высокомолекулярные гомологи $\Sigma C_{26}-C_{40}$ в исследованных почвах находятся на разных стадиях выветривания, на что указывают различия в величине индекса ОЕР (*old-even predominance* – отношение количества нечетного гомолога к сумме ближайших четных *n*-алканов), характеризующего степень трансформации УВ [45]. В большей степени среди данных соединений трансформированы *n*-алканы, генетически связанные с высшей растительностью, – величина индекса ОЕР_{C27}, ОЕР_{C29}, ОЕР_{C31} не превышает 1.58 и варьирует главным образом от 0.28 до 0.99. Величина СРІ (*carbon petroleum index* – отношение нечетных *n*-алканов к четным) в почвах составляла 0.77–1.80, что наряду с величинами ОЕР (в большинстве случаев <1) подтверждает наличие в почве в разной степени трансформированных нефтяных УВ. Известно, что для трансформированных УВ нефтяного генезиса характерно выравнивание соотношения доли четных и нечетных гомологов. Следует отметить, что в составе *n*-алканов почв не выявлены низкомолекулярные гомологи, присутствующие в сырой нефти. Практическое отсутствие легких *n*-алканов в почве обусловлено тем, что они первыми подвергаются микробио-

логической и физико-химической трансформации [42].

Микробные сообщества почв

Полноценное функционирование почвы и реализация биотических функций в большей степени определяются ее микробным сообществом. Микробоценозы очень быстро реагируют на воздействие антропогенного фактора, что позволяет в короткие сроки выявить наиболее уязвимые экологические зоны. Поэтому микробиологические показатели почвы используют для целей экологического мониторинга, оценки устойчивости экосистемы в целом, особенно при различных видах антропогенной нагрузки. Общая численность гетеротрофных бактерий варьировала от 1.22 до 3.49 млн КОЕ/г почвы (рис. 2).

Показано, что при удалении от нефтяной скважины и по мере снижения в почве содержания нефтяных углеводородов (НУ) количество микроорганизмов в ней снижалось. Вероятно, это связано с тем, что в бедных органическим веществом песчаных почвах НУ являются практически единственным источником органического вещества, на содержание которого бактерии реагируют изменением своей численности. Численность НОБ была на порядок ниже (0.17–0.66 млн КОЕ/г), чем ОЧГ и изменялась аналогичным образом. Известно, что регулярное поступление небольших количеств НУ стимулируют развитие нефтеокисляющей способности микроорганизмов [10]. При этом бактериальные сообщества

четко выявляют “концентрационную границу” нефтяного загрязнения, ниже которой микробные ценозы еще справляются с поступающими углеводородами и стабилизируют ситуацию на уровне 40–60 мг/кг сухого грунта [14].

Важным показателем потенциальной активности микробных сообществ, участвующих в процессах самоочищения почв, является содержание в нем НОБ. Считается, что доля НОБ в сообществе гетеротрофных бактерий фоновых природных объектов не превышает условный уровень 10% [19, 37]. Доля НОБ в микробных сообществах исследованных почв составляла от 12.6% в почвенном образце М5 до 18.9% в образце М1, что превышает данную условную величину. Известно, что численность микроорганизмов, особенно группы НОБ в почвах районов нефтедобычи, может быть достаточно высокой [28].

Типичными представителями почвенных микробноценозов являются актиномицеты. Эта группа микроорганизмов активно развивается в почвах, богатых органическим веществом. Актиномицеты плохо переносят изменение влажности, температуры и нефтяное загрязнение [11, 12]. Численность актиномицетов в исследованных почвах была относительно невелика (в пределах сотен тысяч КОЕ/г). По мере приближения к эксплуатационной скважине численность актиномицетов в почве снижалась от максимальной 135.7 тыс. КОЕ/г в образце М5 до минимальной 19.6 тыс. КОЕ/г в образце М2.

В исследованных почвенных образцах не были выявлены микроскопические грибы – типичные представители почвенных микробноценозов всех климатических зон. Вероятнее всего, основной причиной отсутствия микромицетов в почвах является рН среды. Значения рН = 8.15–8.67 обычно не лимитируют развития большинства эколого-трофических групп бактерий, но они крайне неблагоприятны для микромицетов, предпочитающих слабокислую реакцию среды.

Таким образом, выявленные изменения в структуре микробных сообществ почвы демонстрируют ответную реакцию на воздействие солености, рН и концентрации нефти в почве.

ВЫВОДЫ

Выявленные физико-химические особенности исследованных почв пустынной зоны: высокие значения рН, соленость, гранулометрический состав, способствующие аккумуляции тяжелых фракций нефти, в совокупности со специфическими климатическими условиями пустыни Гоби являются факторами, определяющими низкую способность песчаных почв к самоочищению при нефтяном загрязнении.

Анализ углеводородного состава почв на уровне молекулярных маркеров выявил доминирование высокомолекулярных *n*-алканов, находящихся в зависимости от их генетической принадлежности на разных этапах физико-химической и микробиологической трансформации. Вклад микробно-деструктивной составляющей среди выявленных *n*-алканов (20.50–33.7% от их суммы) свидетельствует о достаточно значимой роли микробных сообществ в процессах деструкции нефти в исследованной почве.

Высокие значения солености и рН почвенного раствора ограничивают развитие типичных представителей почвенных микробноценозов – актиномицетов, и в большей степени микроскопических грибов. Тем не менее в таких специфических почвенных условиях сложилось микробное сообщество, обладающее высокой потенциальной активностью к утилизации нефтяных углеводородов.

Содержание НОБ в микробном сообществе почвы (в пределах 20%) соответствует концентрационной границе нефтяного загрязнения для исследованных почв (до 60 мг/кг), и это указывает на то, что микробное сообщество находится на грани реализации способности к самоочищению почвы.

Проведенное исследование показало, что при дальнейшем наращивании добычи нефти в районе Дзунбаян прогноз экологического состояния почв весьма неблагоприятен, поскольку выявленные признаки свидетельствуют о процессах превращения исходной остепненно-пустынной почвы в техногенно-обусловленные модификации.

Авторы выражают благодарность профессору Монгольского государственного университета науки и технологии (Улан-Батор, Монголия) Самбуу Гантумур за помощь в отборе и предоставление образцов почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреева Т.А.* Интегральная оценка воздействия нефтяного загрязнения на параметры химического и биологического состояния почв таежной зоны Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2005. 24 с.
2. *Базилевич Н.И., Панкова Е.И.* Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С. 36–49.
3. *Водянова М.Л.* Эколого-гигиеническая оценка способов биоремедиации нефтезагрязненных почв селитебных территорий: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2013. 26 с.
4. *Геннадиев А.Н., Завгородняя Ю.А., Пиковский Ю.И., Смирнова М.А.* Алканы как компоненты углеводородного состояния почв: поведение, индикационное значение // Почвоведение. 2018. № 1. С. 37–47.

5. Герасимов И.П., Ногина Н.А., Доржготов Д. Почвенный покров и почвы Монголии. М.: Наука, 1984. 194 с.
6. Герасимова М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы (генезис, география, рекультивация). Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
7. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2018. 8 с.
8. Дорохова М.Ф., Солнцева Н.П. Экспериментальные исследования процессов миграции нефти в почвах Калининградской области // Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской. М.: АПР, 2012. С. 259–276.
9. Замотаев И.В., Иванов И.В., Михеев П.В., Никонина А.Н. Химическое загрязнение и трансформация почв в районах добычи углеводородного сырья (обзор литературы) // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1505–1518.
10. Звягинцев Д.Г., Гузев В.С., Левин С.В., Селецкий Г.И., Оборин А.А. Диагностические признаки различных уровней загрязнения почвы нефтью // Почвоведение. 1989. №1. С. 72–78.
11. Звягинцев Д.Г., Зенова Г.М., Грачёва Т.А., Курапова А.И., Дуброва М.С. Разнообразие почвенных актиномицетных комплексов, обусловленное температурными адаптациями мицелиальных актинобактерий // Теоретическая и прикладная экология. 2011. № 1. С. 4–23.
12. Звягинцев Д.Г., Умаров М.М., Чернов И.Ю., Лысак Л.В. и др. Микробные сообщества и их функционирование в процессах деградации и самовосстановления почв // Деградация и охрана почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. С. 401–454.
13. Качинский В.Л., Завгородняя Ю.А., Геннадиев А.Н. Углеводородное загрязнение арктических почв острова Большой Ляховский (Новосибирские острова) // Почвоведение. 2014. № 2. С. 155–168.
14. Кузнецова И.А., Дзюбан А.Н., Косолапов Д.Б. Микробиологические процессы в донных отложениях водоемов бассейна Верхней Волги и их роль в формировании качества водной среды // Современные проблемы биологии и химии. Ярославль: Изд-во Ярослав. гос. ун-та, 2000. С. 55–59.
15. Кураков А.В., Ильинский В.В., Котелевцев С.В., Садчиков А.П. Биоиндикация и реабилитация экосистем при нефтяных загрязнениях. М.: Графикон, 2006. 336 с.
16. Лисовицкая О.В., Можарова Н.В. Влияние углеводородного загрязнения на накопление липидов в почвах // Почвоведение. 2013. № 6. С. 755–760.
17. Оборин А.А., Хмурчик В.Т., Иларионов С.А., Маркарова М.Ю., Назаров А.В. Нефтезагрязненные биогеоценозы (процессы образования, научные основы восстановления, медико-экологические проблемы). Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008. 511 с.
18. Панкова Е.И. Засоление почв Монголии // Почвоведение. 1986. № 10. С. 81–90.
19. Патин С.А. Нефть и экология континентального шельфа. М.: ВНИРО, 2001. 247 с.
20. Пермитина В.Н. Трансформация почв нефтепромыслов Прикаспийского региона // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 2. С. 20–29.
21. Пиковский Ю.И. Геохимические особенности техногенных потоков в районах нефтедобычи // Техногенные потоки вещества в ландшафтах и состояние экосистем. М.: Наука, 1981. С. 134–148.
22. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 207 с.
23. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Краснопева А.А., Пузанова Т.А. Углеводородные геохимические поля в почвах района нефтяного промысла // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5, география. 2009. № 5. С. 28–33.
24. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Краснопева А.А., Пузанова Т.А. Природные и техногенные углеводородные геохимические поля в почвах: концепция, типология, индикаторное значение // Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской. М.: АПР, 2012. С. 236–258.
25. Пиковский Ю.И., Исмаилов Н.М., Дорохова М.Ф. Нефтегазовая геоэкология – наука XXI века // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 2. С. 56–62.
26. ПНД Ф 16.1: 2.2.22–98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органно-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. М.: Гос. ком. РФ по охране окружающей среды. 2005. 21 с.
27. Практикум по микробиологии: Учеб. пос. для студентов ВУЗов / Под ред. А. И. Нетрусова. М.: Издательский центр “Академия”, 2005. 608 с.
28. Розогина Е.А., Шиманский В.К. Некоторые теоретические аспекты восстановления нефтезагрязненных почвенных экосистем // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2007. № 2. С. 1–16.
29. Тимергазина И.Ф., Переходова Л.С. К проблеме биологического окисления нефти и нефтепродуктов углеводородокисляющими микроорганизмами // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7. № 1. С. 15.
30. Трофимов С.Я., Прохоров А.Н. Разработка нормативов допустимого остаточного содержания нефти в почвах // Экология производства. 2006. № 10. С. 30–37.
31. Трофимов С.Я., Розанова М.С. Изменение свойств почв под влиянием нефтяного загрязнения // Деградация и охрана почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. С. 359–373.
32. Уварова В.И. Современное состояние качества воды р. Оби в пределах Тюменской области // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2000. № 1. С. 18–26.
33. Фокина Л.М. Формирование природно-техногенных систем нефтегазовых комплексов. Комплексный мониторинг и оптимальные технологии минимизации экологического ущерба: автореф. дис. ... докт. геол.-минер. наук. Тюмень, 2007. 38 с.

34. *Чижикова Г.П.* Минералогический состав илистой фракции пустынных почв Монголии // Почвоведение. 1988. № 8. С. 44–55.
35. *Хонгорзул Б.* Особенности состава углеводов и высокомолекулярных соединений высокопарафинистых нефтей Монголии: автореф. дисс. ... канд. хим. наук. Томск, 2008. 23 с.
36. *Aislabie J., Foght J.M.* Response of polar soil bacterial communities to fuel spills // Polar Microbiology: The Ecology, Biodiversity and Bioremediation Potential of Microorganisms in Extremely Cold Environments. 2009. P. 215–227.
37. *Atlas R.M.* Microbial hydrocarbon degradation—bioremediation of oil spills // J. Chem. Technol. Biotechnol. 1991. V. 52. № 2. P. 149–156.
38. *Batjargal Z.* Desertification in Mongolia, RALA Report № 200, RALA, Reykjavik. 1992. P. 107–113.
39. *Batukaev A.A., Endovitsky A.P., Andreev A.G., Kalinichenko V.P., et al.* Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonchak as a driver of terrestrial carbon sink // Solid Earth. 2016. V. 7. № 2. P. 415–423.
40. *Del'Arco J.P., De Franca F.P.* Influence of oil contamination levels on hydrocarbon biodegradation in sandy sediment // Environm. Pollution. 2001. V. 112. № 3. P. 515–519.
41. *Endovitsky A.P., Kalinichenko V.P., Mischenko N.A., Batukaev A.A., Zarmaev A.A. et al.* Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem // Journal of Geochemical Exploration. 2017. V. 182. P. 185–192.
42. *Harayama S., Kasai Y., Hara A.* Microbial communities in oil contaminated seawater // Curr. Opin. Biotechnol. 2004. V. 15. № 3. P. 205–214.
43. *Hockun K., Mollenhauer G., Ho S.L., Hefte, J. et al.* Using distributions and stable isotopes of n-alkanes to disentangle organic matter contributions to sediments of Laguna Potrok Aike, Argentina // Organic Geochemistry. 2016. V. 102. P. 110–119.
44. *Johnstone J.F., Kokelj S.V.* Environmental conditions and vegetation recovery at abandoned drilling mudsumps in the Mackenzie Delta region, Northwest Territories, Canada // Arctic. 2008. V. 61. № 2. P. 199–211.
45. *Peters K.E., Walters C.C., Moldowan J.M.* The biomarker guide: Vol. 2, Biomarkers and isotopes in petroleum systems and Earth History. Cambridge University Press. 2007. 704 p.
46. *Yamanaka T., Kaihotsu I., Oyunbaatar D., Ganbold T.* Summertime soil hydrological cycle and surface energy balance on the Mongolian steppe // Journal of Arid Environments. 2007. V. 69. P. 65–79.
47. *Yuting L., Guanghe L., Van Nostrand J.D., Zhili H., et al.* Microarray based analysis of microbial functional diversity along an oil contamination gradient in oil field // FEMS Microbiol Ecol. № 70. 2009. P. 324–333.

HYDROCARBON CONTAMINATION IMPACT ON SANDY SOILS WITHIN THE DZUNBAYAN OIL FIELD (EASTERN MONGOLIA)

L. A. Garetova^{a,#}, G. V. Kharitonova^a, and E. L. Imranova^a

^a*Institute of Water and Ecological Problems, Far East Branch RAS
ul. Dikopol'tseva, 56, Khabarovsk, 680000 Russia*

[#]*E-mail: micro@ivep.as.khb.ru*

The data are presented on the particle-size distribution, content of hydrocarbons, *n*-alkanes in their composition and the number of microorganisms in the soils of Dzunbayan oil production area (Mongolia, the Eastern Gobi desert steppe). The soils studied are characterized by the dominance of sand and fluid fraction (99.50–99.8%) with particles of 2–20 μm. The soils show alkaline reaction (pH 8.2–8.7), they are slightly saline in the control areas and highly saline (water extract salinity 0.13–2.34‰) near the production well. The content of petroleum hydrocarbons (HC) in soils of the study area varied from 9 to 60 mg/kg, with a maximum near the well. The study of the molecular composition of *n*-alkanes revealed the dominance of long-chain homologues (66.3–79.2% of the total *n*-alkanes), occurring at various stages of physicochemical and microbiological weathering. According to a number of features, the microbial community of soils is characterized by a high degree of adaptation to the conditions of the arid zone, salinity, and high pH values; at the same time, these conditions limit the development of typical representatives of soil microbiocenoses, i.e., actinomycetes and, to a greater extent, microscopic fungi. The total number of heterotrophic bacteria (HBGs) in the studied soil samples varied within 1.22–3.49 million CFU/g of soil. The proportion of oil-oxidizing bacteria (NOB) was 12.6–18.9% OBA, which corresponded to the high adaptive capacity of the community to hydrocarbons. Specific climatic conditions, features of soil composition, as well as oil with a predominance of heavy paraffin fractions of the Dzunbayan deposit, characterize the low potential ability of soils to self-purify under the oil pollution.

Keywords: *Mongolia, soils, oil production, particle-size distribution, salinity, contamination, hydrocarbons, n-alkanes, bacteria*

REFERENCES

1. Andreeva, T.A. *Integral'naya otsenka vozdeistviya neftyanogo zagryazneniya na parametry khimicheskogo i biologicheskogo sostoyaniya pochv taezhnoi zony Zapadnoi Sibiri*. [Integral assessment of the oil pollution impact on the parameters of chemical and biological state of soils in the taiga zone of Western Siberia]. Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Diss., Tomsk, 2005, 24 p. (in Russian)
2. Bazilevich, N.I., Pankova, E.I. *Opyt klassifikatsii pochv po sodержaniyu toksichnykh soley i ionov* [Experience in soil classification by the content of toxic salts and ions]. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 1972, vol. 5. pp. 36–49 (in Russian)
3. Vodyanova, M.L. *Ekologo-gigienicheskaya otsenka sposobov bioremediatsii neftezagryaznennykh pochv selitobnykh territorii* [Ecological and hygienic assessment of bioremediation methods of oil-contaminated soils in residential areas]. Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Diss., Moscow, 2013, 26 p. (in Russian)
4. Gennadiev, A.N., Zavgorodnyaya, Yu.A., Pikovskii, Yu.I., Smirnova, M.A. *Alkany kak komponenty uglevodorodnogo sostoyaniya pochv: povedenie, indikatsionnoe znachenie* [Alkanes as components of the hydrocarbon state of soils: behavior, indicative value]. *Pochvovedenie*, 2018, no. 1, pp. 37–47. (in Russian)
5. Gerasimov, I.P., Nogina, N.A., Dorzhgotov, D. *Pochvennyi pokrov i pochvy Mongolii*. [Soil cover and soils of Mongolia]. Moscow, Nauka Publ., 1984, 194 p. (in Russian)
6. Gerasimova, M.I., Stroganova, M.N., Mozharova, N.V., Prokof'eva, T.V. *Antropogennye pochvy (genesis, geografiya, rekul'tivatsiya)* [Anthropogenic soils (genesis, geography, and reclamation)]. Smolensk, Ecumene Publ., 2003, 268 p. (in Russian)
7. *GOST 17.4.3.01-2017. Mezhgosudarstvennyi standart. Okhana prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru prob.* [State Standard 17.4.3.01–2017. Interstate standard. Nature conservation. Soil. General requirements for sampling]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 8 p. (in Russian)
8. Dorokhova, M.F., Solntseva, N.P. *Eksperimental'nye issledovaniya protsessov migratsii nefiti v pochvakh Kaliningradskoi oblasti* [Experimental studies of oil migration processes in soils of the Kaliningrad region]. In: *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv. 100 let so dnya rozhdeniya M.A. Glazovskoi* [Geochemistry of landscapes and geography of soils. 100-year birthday of M.A. Glazovskaya], Moscow, APR Publ., 2012, pp. 259–276. (in Russian)
9. Zamotaev, I.V., Ivanov, I.V., Mikheev, P.V., Nikonova, A.N. *Khimicheskoe zagryaznenie i transformatsiya pochv v raionakh dobychi uglevodorodnogo syr'ya (obzor literatury)* [Chemical pollution and transformation of soils in areas of hydrocarbon production (review of publications)]. *Pochvovedenie*, 2015, no. 12, pp. 1505–1518. (in Russian)
10. Zvyagintsev, D.G., Guzev, V.S., Levin, S.V., Seletskii, G.I., Oborin, A.A. *Diagnosticheskie priznaki razlichnykh urovnei zagryazneniya pochvy neftyu* [Diagnostic signs of different levels of oil contamination of the soil]. *Pochvovedenie*, 1989, no. 1, pp. 72–78. (in Russian)
11. Zvyagintsev, D.G., Zenova, G.M., Gracheva, T.A., Kurapova, A.I., Dubrova, M.S. *Raznoobrazie pochvennykh aktinomitsetnykh kompleksov, obuslovlennoe temperaturnymi adaptatsiyami mitselial'nykh aktinobakterii* [Diversity of soil actinomycete complexes due to temperature adaptations of mycelial actinobacteria]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2011, no. 1, pp. 4–23. (in Russian)
12. Zvyagintsev, D.G., Umarov, M.M., Chernov, I.Yu., Lysak, L.V., et al. *Mikrobnye soobshchestva i ikh funktsionirovanie v protsessakh degradatsii i samovosstanovleniya pochv* [Microbial communities and their functioning upon degradation and self-rehabilitation of soils]. In: *Degradatsiya i okhrana pochv* [Degradation and protection of soils], Moscow, MSU Publ., 2002, pp. 401–454. (in Russian)
13. Kachinskii, V.L., Zavgorodnyaya, Yu.A., Gennadiev, A.N. *Uglevodorodnoe zagryaznenie arktotundrovnykh pochv ostrova Bol'shoi Lyakhovskii (Novosibirskie ostrova)* [Hydrocarbon pollution of Arctic tundra soils of Bolshoi Lyakhovskii Island (Novosibirsk Islands)]. *Pochvovedenie*, 2014, no. 2, pp. 155–168. (in Russian)
14. Kuznetszova, I.A., Dzyuban, A.N., Kosolapov, D.B. *Mikrobiologicheskie protsessy v donnykh otlozheniyakh vodoemov basseina Verkhnei Volgi i ikh rol' v formirovanii kachestva vodnoi sredy* [Microbiological processes in bottom sediments of reservoirs of the Upper Volga basin and their role in the formation of the aquatic environment quality]. In: *Sovremennye problemy biologii i khimii* [Modern problems in biology and chemistry]. Yaroslavl, Yaroslavl State University Publ., 2000, pp. 55–59. (in Russian)
15. Kurakov, A.V., Il'inskii, V.V., Kotelevtsev, S.V., Sadchikov, A.P. *Bioindikatsiya i reabilitatsiya ekosistem pri neftyanykh zagryazneniyakh* [Bioindication and rehabilitation of ecosystems in oil pollution]. Moscow, Graphon Publ., 2006, 336 p. (in Russian)
16. Lisovitskaya, O.V., Mozharova, N.V. *Vliyanie uglevodorodnogo zagryazneniya na nakoplenie lipidov v pochvakh* [The effect of hydrocarbon pollution on the accumulation of lipids in soils]. *Pochvovedenie*, 2013, no. 6, pp. 755–760. (in Russian)
17. Oborin, A.A., Khmurchik, V.T., Ilarionov, S.A., Markarova, M.Yu., Nazarov, A.V. *Neftezagryaznennyye biogeotsenozy (protssy obrazovaniya, nauchnye osnovy vosstanovleniya, mediko-ekologicheskie problemy)* [Oil-contaminated biogeocenoses (education processes, scientific foundations of restoration, medical and environmental problems)]. Perm, PSU Publ., PSTU Publ., 2008, 511 p. (in Russian)
18. Pankova, E.I. *Zasolenie pochv Mongolii* [Salinization of soils in Mongolia]. *Pochvovedenie*, 1986, no. 10, pp. 81–90. (in Russian)
19. Patin, S.A. *Neft' i ekologiya kontinental'nogo shel'fa* [Oil and ecology of the continental shelf]. Moscow, VNIRO Publ., 2001, 247 p. (in Russian)
20. Permitina, V.N. *Transformatsiya pochv neftepromyslov Prikaspiiskogo regiona* [Transformation of soils of oil

- fields of the Caspian region]. *Pochvovedenie i agrokhi-miya*, 2011, no. 2, pp. 20–29. (in Russian)
21. Pikovskii, Yu.I. *Geokhimicheskie osobennosti tekhnogennykh potokov v raionakh nefte dobychi* [Geochemical features of technogenic flows in oil production areas]. In: *Tekhnogennye potoki veshchestva v landshaftakh i sostoyanie ekosistem* [Technogenic flows of matter in landscapes and the state of ecosystems]. Moscow, Nauka Publ., 1981, pp. 134–148. (in Russian)
 22. Pikovskii, Yu.I. *Prirodnye i tekhnogennye potoki uglevodorodov v okruzhayushchei srede* [Natural and anthropogenic hydrocarbon flows in the environment]. Moscow, MSU Publ., 1993, 207 p. (in Russian)
 23. Pikovskii, Yu.I., Gennadiyev, A.N., Krasnopeeva, A.A., Puzanova, T.A. *Uglevodorodnye geokhimicheskie polya v pochvakh raiona nefryanogo promysla* [Hydrocarbon geochemical fields in the soils of the oil field area]. *Vestn. Mosk. Un-ta. Ser. 5, geografiya*, 2009, no. 5, pp. 28–33. (in Russian)
 24. Pikovskii, Yu.I., Gennadiyev, A.N., Krasnopeeva, A.A., Puzanova, T.A. *Prirodnye i tekhnogennye uglevodorodnye geokhimicheskie polya v pochvakh: kontseptsiya, tipologiya, indikatsionnoe znachenie* [Natural and technogenic hydrocarbon geochemical fields in soils: concept, typology, and indicative value]. In: *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv. 100 let so dnyarozhdeniya M.A. Glazovskoi* [Geochemistry of landscapes and geography of soils. 100th anniversary of M.A. Glazovskaya]. Moscow, APR Publ., 2012. pp. 236–258. (in Russian)
 25. Pikovskii, Yu.I., Ismailov, N.M., Dorokhova, M.F. *Neftegazovaya geoekologiya – nauka XXI veka* [Oil and gas geoecology as the science of the XXI century]. *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, 2014, vol. 10, no. 2, pp. 56–62. (in Russian)
 26. *PND F 16.1:2.2.22–98. Metodika vypolneniya izmerenii massovoi doli nefteproduktov v mineral'nykh, organogennykh, organo-mineral'nykh pochvakh i donnykh otlozheniyakh metodom IK-spektrometrii* [Technique for measuring the mass fraction of petroleum products in mineral, organogenic, organo-mineral soils and bottom sediments using IR spectrometry]. Moscow, State Com. RF on environmental protection, 2005, 21 p. (in Russian)
 27. *Praktikum po mikrobiologii: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov* [Workshop on microbiology: the textbook for students of higher education]. Ed. A.I. Netrusov, Moscow, Academiya Publ., 2005, 608 p. (in Russian)
 28. Rogozina, E.A., Shimanskii, V.K. *Nekotorye teoreticheskie aspekty vosstanovleniya neftezagryaznennykh pochvennykh ekosistem* [Some theoretical aspects of restoring oil-contaminated soil ecosystems]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2007, no. 2, pp. 1–16. (in Russian)
 29. Timergazina, I.F., Perexodova, L.S. *K probleme biologicheskogo okisleniya nefiti i nefteproduktov uglevodorodokislyayushchimi mikroorganizmami* [On the problem of biological oxidation of oil and petroleum products by hydrocarbon-oxidizing microorganisms]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2012, vol. 7, no. 1, p. 15. (in Russian)
 30. Trofimov, S.Ya., Prokhorov, A.N. *Razrabotka normativov dopustimogo ostatochnogo soderzhaniya nefiti v pochvakh* [Development of standards for permissible residual oil content in soils]. *Ekologiya proizvodstva*, 2006, no. 10, pp. 30–37. (in Russian)
 31. Trofimov, S.Ya., Rozanova, M.S. *Izmenenie svoystv pochv pod vliyaniem nefryanogo zagryazneniya* [Changing soil properties under the influence of oil pollution]. *Degradatsiya i okhrana pochv* [Soil degradation and protection], Moscow, MSU Publ., 2002, pp. 359–373. (in Russian)
 32. Uvarova, V.I. *Sovremennoe sostoyanie kachestva vody r. Obi v predelakh Tyumenskoi Tyumenskoi oblasti* [The current state of water quality of the Ob River within the Tyumen region]. *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya*, 2000, no. 1, pp. 18–26. (in Russian)
 33. Fokina, L.M. *Formirovanie prirodno-tekhnogennykh sistem neftegazovykh kompleksov. Kompleksnyi monitoring i optimal'nye tekhnologii minimizatsii ekologicheskogo ushherba* [Formation of natural and man-made systems of oil and gas complexes. Comprehensive monitoring and optimal technologies for minimizing environmental damage]. Extended Abstract of Doctoral (Geol.-Min.) Dissertation, Tyumen, 2007, 38 p. (in Russian)
 34. Chizhikova, G.P. *Mineralogicheskii sostav ilistoi fraktsii pustynnykh pochv Mongolii* [Mineralogical composition of silty fraction of desert soils of Mongolia]. *Pochvovedenie*, 1988, no. 8, pp. 44–55. (in Russian)
 35. Xongorzul B. *Osobennosti sostava uglevodorodov i vysokomolekulyarnykh soedinenii vysokoparaffinistykh neftei Mongolii* [Features of the composition of hydrocarbons and high-molecular compounds of high-paraffin oils of Mongolia]. Extended Abstract of Cand. Sci. (Chem.) Dissertation, Tomsk, 2008, 23 p. (in Russian)
 36. Aislabie, J., Foght, J.M. Response of polar soil bacterial communities to fuel spills. *Polar microbiology: the ecology, biodiversity and bioremediation potential of microorganisms in extremely cold environments*, 2009, pp. 215–227.
 37. Atlas, R.M. Microbial hydrocarbon degradation–bioremediation of oil spills. *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, 1991, vol. 52, no. 2, pp. 149–156.
 38. Batjargal, Z. Desertification in Mongolia, RALA Report № 200, RALA, Reykjavik, 1992, pp. 107–113.
 39. Batukaev, A.A., Endovitsky, A.P., Andreev, A.G., Kalinichenko, V.P., et al. Ion association in water solution of soil and vadose zone of chestnut saline solonetz as a driver of terrestrial carbon sink. *Solid Earth.*, 2016, vol. 7, no. 2, pp. 415–423.
 40. Del'Arco, J.P., De Franca, F.P. Influence of oil contamination levels on hydrocarbon biodegradation in sandy sediment. *Environm. Pollution*, 2001, vol. 112, no. 3, pp. 515–519.
 41. Endovitsky, A.P., Kalinichenko, V.P., Mischenko, N.A., Batukaev, A.A., et al. Ions association in soil solution as the cause of lead mobility and availability after application of phosphogypsum to chernozem. *Journal of Geochemical Exploration*, 2017, vol. 182, pp. 185–192.
 42. Harayama, S., Kasai, Y., Hara, A. Microbial communities in oil contaminated seawater. *Curr. Opin. Biotechnol.*, 2004, vol. 15, no. 3, pp. 205–214.

43. Hockun, K., Mollenhauer, G., Ho, S.L., Hefter, J., Ohlendorf, C., Zolitschka, B., Mayr, C., Lücke, A., Schefuß, E. Using distributions and stable isotopes of n-alkanes to disentangle organic matter contributions to sediments of Laguna Potrok Aike, Argentina. *Organic Geochemistry*, 2016, vol. 102, pp. 110–119.
44. Johnstone, J.F., Kokelj, S.V. Environmental conditions and vegetation recovery at abandoned drilling mudsumps in the Mackenzie Delta region, Northwest Territories, Canada. *Arctic*, 2008, vol. 61, no. 2, pp. 199–211.
45. Peters, K.E., Walters, C.C., Moldowan, J.M. The biomarker guide: Vol. 2, Biomarkers and isotopes in petroleum systems and Earth History. Cambridge University Press., 2007, 704 p.
46. Yamanaka, T., Kaihotsu, I., Oyunbaatar, D., Ganbold, T. Summertime soil hydrological cycle and surface energy balance on the Mongolian steppe. *Journal of Arid Environments*, 2007, vol. 69, pp. 65–79.
47. Yuting, L., Guanghe, L., Van Nostrand, J.D., Zhili, H., et al. Microarray based analysis of microbial functional diversity along an oil contamination gradient in oil field. *FEMS Microbiol Ecol.*, 2009, no. 70, pp. 324–333.