

Читать  
онлайн  
Read  
online

Лодыгин Е.Д., Алексеев И.И., Нестеров Б.А.

## Эколого-гигиеническая оценка содержания природных углеводородов в арктических и субарктических почвах европейского Северо-Востока Российской Федерации

Институт биологии ФГБУН Федеральный исследовательский центр Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук, 167982, Сыктывкар, Россия

### РЕЗЮМЕ

**Введение.** Исследование естественных уровней содержания углеводородов (УВ) в почвах представляет собой актуальную задачу, решение которой поможет объективно оценивать уровень антропогенного загрязнения почв и своевременно ограничивать процессы добычи, переработки и транспортировки нефтяных УВ. Анализ содержания в фоновых почвах УВ позволит выявить закономерности их накопления в регионах Арктики и Субарктики в зависимости от особенностей ландшафта и геохимии территорий.

**Материалы и методы.** Отбор репрезентативных образцов основных типов почв проводился с учётом специфики формирования почвенного покрова в различных ландшафтах с использованием маршрутного метода. Концентрацию УВ в образцах определяли в гексановых экстрактах на основе интенсивности их флуоресценции.

**Результаты.** Исследования показали, что на аккумуляцию и распределение УВ в профилях почв влияют различные факторы, такие как генезис почв, рельеф, содержание органического вещества и физической глины. Максимальная концентрация УВ отмечена в почвах аккумулятивных ландшафтов на суглинистых отложениях (Retisols), наименьшая — в почвах элювиальных территорий на песках (Podzols). Профильная дифференциация УВ также более выражена на суглинистых почвах и менее — на песчаных. Полученные результаты позволили актуализировать существующую базу данных и составить карту распределения УВ в фоновых почвах европейской Арктики и Субарктики.

**Ограничения исследования.** Ограничение исследования связано с отбором проб только фоновых почв, находящихся на расстоянии не менее 1 км от железных и автомобильных дорог, 5 км от населённых пунктов и 10 км от промышленных предприятий. В данной статье мы анализировали лишь природные УВ и не рассматривали остальные классы органических и неорганических соединений.

**Заключение.** Получены данные о концентрации природных УВ в различных фоновых почвах европейского Северо-Востока России с учётом ландшафтно-геохимических особенностей. Результаты дают возможность оценить уровень загрязнения почв европейской Арктики и Субарктики. Показано, что содержание УВ в органогенных горизонтах, характеризующихся высокой способностью к накоплению, может быть интегральным показателем антропогенного загрязнения почв. Для различных типов почв предложены пороговые значения концентрации УВ, которые находятся в широком диапазоне от 3,4 до 40 мг/кг и могут быть использованы для эколого-гигиенической оценки почв высоких широт.

**Ключевые слова:** углеводородный фон; мониторинг почв; ГИС-технологии; тайга; тундра

**Соблюдение этических стандартов.** Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

**Для цитирования:** Лодыгин Е.Д., Алексеев И.И., Нестеров Б.А. Эколого-гигиеническая оценка содержания природных углеводородов в арктических и субарктических почвах европейского Северо-Востока Российской Федерации. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(1): 17–22. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-1-17-22> <https://elibrary.ru/asoovd>

**Для корреспонденции:** Лодыгин Евгений Дмитриевич, e-mail: lodigin@ib.komisc.ru

**Участие авторов:** Лодыгин Е.Д. — концепция и дизайн исследования, математическая обработка, сбор материала, обработка данных, написание текста; Алексеев И.И., Нестеров Б.А. — сбор материала, обработка данных. Все соавторы — редактирование рукописи, утверждение окончательного варианта статьи и ответственность за целостность всех частей статьи.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

**Финансирование.** Работа выполнена при поддержке гранта РНФ (№ 24-24-00144).

Поступила: 01.04.2024 / Принята к печати: 19.06.2024

Evgeny D. Lodygin, Ivan I. Alekseev, Boris A. Nesterov

## Ecological and hygienic assessment of natural hydrocarbons content in arctic and subarctic soils of the European North-East of the Russian Federation

Institute of Biology, Komi Federal Research Centre, Ural Branch of RAS, Syktывkar, 167982, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The study of natural levels of hydrocarbons (HCs) content in soils is an urgent task, the solution of which will help to objectively assess the level of anthropogenic contamination of soils and timely limit the processes of extraction, processing, and transport of petroleum HCs. The analysis of HCs content in background soils will make it possible to reveal the regularities of their accumulation in the Arctic and Subarctic regions, taking into account the landscape and geochemistry of the areas.

**Materials and methods.** Representative samples of the main soil types were selected using the route method, taking into account the peculiarities of soil cover formation in different landscapes. The concentration of HCs in the samples was determined in hexane extracts based on their fluorescence intensity.

**Results.** The studies have shown that HCs accumulation and distribution in soil profiles are influenced by various factors such as soil genesis, relief, organic matter content, and physical clay. The highest HCs concentrations were observed in soils of accumulation landscapes on loamy sediments (Retisols), and the lowest in soils of eluvial landscapes on sands (Podzols). HCs profile differentiation is also more pronounced on loamy soils and less so on sandy soils. The results obtained allowed updating the existing database and mapping the HCs distribution in the background soils of the European Arctic and Subarctic.

**Limitations.** The limitation of the study is related to the fact that only background soils at a distance of at least 1 km from railways and motorways, 5 km from settlements and 10 km from industrial plants were sampled. In this paper, only natural HCs were analysed, without considering other classes of organic and inorganic compounds.

**Conclusion.** The data on the concentration of natural HCs in different background soils of the European North-East of Russia with respect to landscape-geochemical peculiarities have been obtained. The results provide an opportunity to assess the possible level of contamination of soils of the European Arctic and Subarctic. The HC content in organogenic horizons is shown to be characterised by a high accumulation capacity and act as an integral indicator of the aerotechnogenic load on the soil cover. Threshold values of HCs concentration are proposed for the studied soils, which are in a wide range from 3.4 to 40 mg/kg and can be used for ecological and hygienic assessment of high latitude soils.

**Keywords:** hydrocarbon background; soil monitoring; GIS technologies; taiga; tundra

**Compliance with ethical standards.** The study does not require the submission of the conclusion of the Biomedical Ethics Committee or other documents.

**For citation:** Lodygin E.D., Alekseev I.I., Nesterov B.A. Ecological and hygienic assessment of natural hydrocarbons content in arctic and subarctic soils of the European North-East of the Russian Federation. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2025; 104(1): 17–22. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-1-17-22> <https://elibrary.ru/asoovd> (In Russ.)

**For correspondence:** Evgeny D. Lodygin, e-mail: lodigin@ib.komisc.ru

**Contribution:** Lodygin E.D. — study conception and design, mathematical processing, drafting; Alekseev I.I., Nesterov B.A. — collection of material, data processing. All co-authors are responsible for editing the manuscript, approving the final version of the article, and ensuring the integrity of all parts of the article.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Acknowledgement.** This work was supported by the RSF (no. 24-24-00144).

Received: April 1, 2024 / Accepted: June 19, 2024

## Введение

Глобальные экологические проблемы, связанные с трансграничным перемещением поллютантов, влиянием местных и региональных источников загрязнения окружающей среды, требуют новых методов оценки ситуаций, возникающих в естественных экосистемах. Нефть играет заметную роль в развитии современной промышленности и служит важным ресурсом, от которого зависит общество [1, 2]. Однако из-за интенсивного спроса и применения разливы нефти неизбежно попадают в почву и грунтовые воды [3, 4], поэтому природные среды сегодня перегружены нефтяными углеводородами (УВ) [5–9]. Нефтяные УВ являются одними из наиболее распространённых и стойких загрязнителей на нефтехимических объектах [9]. Вещества на основе нефтяных УВ, проникающие в почву, способны вызывать как обонятельные, так и визуальные проявления загрязнения почвы, представляя для неё угрозу [10, 11]. Нефтяное загрязнение способно изменять гидрофобность и проницаемость почвы, тем самым влияя на круговорот питательных веществ и способность удерживать воду [12]. Оно вызывает фитотоксичность, негативно воздействуя на биомассу растений за счёт изменения формы и цвета их надземных и подземных частей [13].

Кроме того, нефтяное загрязнение оказывает разрушительное воздействие на экосистемы и здоровье человека. Канцерогенные и мутагенные свойства УВ могут приводить к различным патологиям у людей и других организмов [14]. Употребление пищи, загрязнённой производными нефтяных УВ, связывают с пороками развития клеток и развитием опухолей, что делает их этиологическим агентом возникновения новообразований [15, 16]. По данным многочисленных исследований, у животных, подвергшихся воздействию нефтяного загрязнения, наблюдаются такие симптомы, как потеря равновесия, замедление движений и снижение устойчивости [17]. Загрязнение вызывает изменения в популяциях диких видов, часто приводящие к их гибели, что может играть важнейшую роль в переносе питательных веществ и обуславливать пагубное воздействие нефтяного загрязнения на функциональность экосистем [18, 19].

К сожалению, практически не существует нефтяных месторождений, где производство было бы абсолютно безотходным. Современные технологии добычи, переработки и транспортировки приводят к потере от 1 до 16,5% нефти и нефтепродуктов. Годовые мировые потери сырой и переработанной нефти превышают 107 тыс. тонн, причём 20% из них попадает в Мировой океан, а остальная часть — в почвы [20]. По всему миру можно найти целое множество территорий, загрязнённых нефтяными УВ [21–23]. Эта экологическая проблема возникает даже в таких изолированных и удалённых холодных районах, как Арктика и Антарктический континент [24–27], в результате использования там углеводородного топлива в качестве источника энергии [28].

На территории Республики Коми, относящейся к европейскому Северо-Востоку России, имеются активно используемые крупные нефтяные месторождения, что приводит к значительному увеличению добычи нефти и ухудшению экологической ситуации в регионе, который включает в себя таёжную и тундровую зоны [29]. Антропогенно нарушенные ландшафты становятся всё более распространёнными на территориях нефтяных месторождений, мест бурения и эксплуатации скважин, вдоль нефтепроводов и транспортных маршрутов. Эта деградация обусловлена как механическим нарушением почвенного покрова, так и разливами в результате аварий на скважинах, коррозии и повреждений нефтепроводов нефти, нефтяного шлама и отходов от бурения, что сопровождается выбросами токсичных соединений [30–32].

В соответствии с законодательством в области экологического регулирования и нормирования [33] для оценки уровня химического загрязнения почв как одного из показателей негативного воздействия на здоровье людей необходимо использовать характеристики, разработанные при проведении комплексных эколого-гигиенических геохимических исследований окружающей среды территорий с активными источниками загрязнения. Одна из таких характеристик — коэффициент концентрации химического вещества, который рассчитывается как отношение фактической концентрации данного поллютанта в почве к региональному фону. Действующие в России нормативные требования к содержанию нефти и нефтепродуктов в почвах не учитывают различий в природно-климатических зонах, что затрудняет оценку воздействия на почвенный покров в регионах.

Информация о фоновой концентрации УВ в различных типах почв северных регионов практически отсутствует, а имеющиеся немногочисленные данные не учитывают вариативности их содержания в зависимости от генезиса почвы [13]. Поэтому важной задачей является оценка естественного уровня концентрации УВ в почвах. Её решение позволит объективно оценивать загрязнение почв и вводить необходимые ограничения промышленных процессов при добыче, переработке и транспортировке нефтяных УВ. Кроме того, почвы в суровых климатических условиях северных регионов имеют низкую способность к самоочищению, что требует постоянного мониторинга уровня УВ [26].

Всё это обусловило цели настоящего исследования: определение концентраций природных УВ, установление закономерностей их содержания в почвах различного генезиса, проведение эколого-гигиенической оценки состояния почвенного покрова на территории европейского Северо-Востока России.

## Материалы и методы

Исследование было сосредоточено на почвах арктических и субарктических регионов Республики Коми. Почвенные образцы отбирали из органогенных и минеральных

Таблица 1 / Table 1

**Химические свойства почв и содержание глины****Chemical properties of the soils and clay content**

| Наименование почв<br>Soil name | Горизонты<br>Horizons | Глубина отбора проб, см<br>Sampling depth, cm | pH (H <sub>2</sub> O) | C, %                     | Фракция < 0.01 мм, %<br>Fraction < 0.01 mm, % |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------------------|
| Albic Podzols                  | O–E–Bst–B–BC          | (0–3)–(3–20)–(20–38)–(38–65)–(65–100)         | 4.7–5.1–5.3–5.5–5.6   | 36.1–0.13–0.50–0.17–0.04 | н.а.*–2.0–4.9–2.1–2.0                         |
| Folic Stagnic Podzols          | O–E–Bg–Cg             | (0–15)–(15–30)–(60–115)–(115–120)             | 3.6–5.4–4.8–4.8       | 38.2–0.29–0.35–0.12      | н.а.–0.4–5.2–3.7                              |
| Histic Stagnic Podzols         | H–E–Bg–Cg             | (0–20)–(20–25)–(70–110)–(110–120)             | 4.3–6.1–5.6–5.7       | 38.7–0.12–2.20–0.93      | н.а.–0.4–7.4–3.7                              |
| Gleyic Stagnic Retisols        | O–E–Bg–C              | (0–7)–(7–12)–(46–93)–(93–105)                 | 4.9–4.4–4.6–6.0       | 41.8–1.75–0.52–0.18      | н.а.–28.6–47.7–49.6                           |
| Folic Stagnic Retisols         | O–E–Bg–Cg             | (0–12)–(15–40)–(50–140)–(140–160)             | 4.8–5.1–5.6–6.1       | 39.4–0.85–0.17–0.05      | н.а.–28.4–38.7–30.7                           |
| Histic Stagnic Retisols        | H–Eh–Bg–Cg            | (0–30)–(30–40)–(55–90)–(110–120)              | 4.5–4.8–6.0–6.7       | 35.6–10.6–0.36–0.08      | н.а.–31.4–38.7–44.2                           |
| Histosols                      | O–H–Bg                | (0–20)–(40–80)–(95–105)                       | 4.8–4.4–4.4           | 31.9–38.5–4.2            | н.а.–н.а.–33.6                                |
| Fluvisols                      | Ah–B–Cg               | (0–20)–(40–100)–(100–130)                     | 5.9–5.6–6.0           | 3.1–2.84–0.21            | 17.4–16.7–18.1                                |
| Haplic Cryosols                | O–Bg–BCg              | (0–7)–(20–50)–(50–90)                         | 6.0–5.2–5.9           | 37.5–0.50–0.49           | н.а.–25.0–43.1                                |
| Spodic Cryosols                | O–Bg–Cg               | (0–21)–(60–95)–(115–130)                      | 3.7–4.7–6.4           | 41.8–0.32–0.51           | н.а.–39.7–33.4                                |
| Histic Cryosols                | O–Oa–Bg               | (0–25)–(25–41)–(41–70)                        | 3.8–3.9–4.2           | 39.6–42.9–2.14           | н.а.–28.3                                     |
| Mollic Umbrisols               | O–B                   | (0–9)–(20–40)                                 | 6.4–7.9               | 34.2–0.52                | н.а.–34.7                                     |
| Haplic Umbrisols               | O–B–C                 | (0–14)–(14–24)–(24–60)                        | 5.1–4.3–4.6           | 36.9–1.91–1.86           | н.а.–39.3–46.2                                |
| Spodosols                      | O–B–BC                | (0–7)–(7–45)–(45–65)                          | 3.9–4.7–4.9           | 38.1–2.85–1.55           | н.а.–50.7–51.9                                |
| Stagnosols                     | O–B–C                 | (0–10)–(20–40)–(40–55)                        | 4.5–5.5–5.3           | 32.7–1.09–1.13           | н.а.–34.7–40.2                                |

Примечание. \* – н.а. – не анализировали.

Note: \* – н.а. – not analysed.

горизонтов почв различных типов: Cryosols, Histosols, Fluvisols, Podzols, Retisols, Spodosols, Stagnosols и Umbrisols (рис. 1, см. на вклейке). Типы почв определяли в соответствии с международной системой почвенной классификации [34]. Некоторые химические свойства почв и содержание физической глины приведены в табл. 1.

Для сбора образцов использовали маршрутный метод, поскольку он позволяет учитывать особенности генезиса почв в различных ландшафтах – от водоразделов (автоморфные почвы) до геохимически зависимых на депрессивных участках (полугидроморфные и гидроморфные почвы).

Концентрацию УВ в почвенных образцах определяли по значениям интенсивности флуоресценции гексанового экстракта, измеренной на анализаторе жидкости «Флюорат-02-03М» («Люмэкс», Россия). Методика основана на экстракции нефти из образца почвы хлороформом, выпаривании экстракта, растворении сухого экстракта в гексане, очистке полученного раствора на колонке с оксидом алюминия. Для калибровки анализатора использовали оптический светодетектор с длиной волны (максимум пропускания) 265 нм в канале возбуждения и светодетектор с максимумом пропускания 320 нм в канале регистрации. В качестве эталона использовали государственный стандартный образец 1 мг/мл нефтехимических веществ, растворённых в гексане.

Для измерения концентрации природных УВ в образцах почвы использовали метод, основанный на измерении интенсивности флуоресценции гексанового экстракта на спектрофотометре «Флюорат-02-03М» («Люмэкс», Россия). Процедура включала хлороформную экстракцию УВ из образца, упаривание экстракта, растворение сухого остатка в гексане и очистку раствора на колонке с Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Для калибровки прибора использовали оптические светодетекторы с длинами волн 265 и 320 нм в каналах возбуждения и регистрации соответственно. Государственный стандартный образец с концентрацией нефтехимических веществ 1 мг/мл, растворённых в гексане, использовали в качестве эталона.

На основе полученных результатов анализов с использованием ГИС-технологий (ArcView GIS 3.2a) актуализиро-

вана база данных содержания УВ в органических (подстилочных) горизонтах исследованных почв. Концентрации УВ в органогенных горизонтах, которые характеризуются высокой аккумулярующей способностью, использованы для картографирования концентраций УВ в почвах.

## Результаты

Исследуемая территория площадью 60,3 тыс. км<sup>2</sup> имеет равнинные и горные участки. Рельеф тундровой зоны – плоский с участками, изрезанными моренными холмами и обширными понижениями. В подзоне южных гипоарктических тундр преобладает ерниковый кустарниково-моховый растительный покров с доминированием карликовой берёзки. На водоразделах в подзоне северной лесотундры преобладают ерниковые тундры, в долинах рек и по склонам холмов появляются разреженные еловые и берёзовые мелколесья.

Рельеф северной тайги равнинный, реже крутосклонный, особенно около рек, где он более изрезан. В лесах преобладают ели, ближе к истокам рек встречаются болота, а террасы покрыты мохово-лишайниковыми сосняками. Слаборенрированные территории, как правило, заболочены. Горные участки представлены Уральскими горами, состоящими из длинных цепей, изрезанных речными долинами. На вершинах встречаются каменистые поля (гольцы), образованные в результате процессов замерзания и оттаивания. Растительность в нижней части горной территории представлена хвойными лесами, а в средней – лиственными и берёзовыми. Выше начинаются высокотравные луга, а на высоте 800 м над уровнем моря – гольцовый высотный пояс Приполярного Урала.

Исследуемые районы вытянуты с севера на юг и подвержены значительным изменениям климата в меридиональном направлении (табл. 2), что приводит к усилению процессов полугидроморфного и гидроморфного педогенеза [35]. В почвообразующих породах присутствует весь спектр отложений от песчаных до тяжелосуглинистых, а также двучленные

Таблица 2 / Table 2

### Климатические параметры Climate parameters

| Параметр<br>Parameter                                                                                      | Подзона южной тайги<br>Southern taiga subzone | Подзона северной тайги<br>Northern taiga subzone |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Средняя температура воздуха, °C: / Mean air temperature, °C:                                               |                                               |                                                  |
| самого тёплого месяца (июль) / of the warmest month (July)                                                 | +13.4                                         | +16.0                                            |
| самого холодного месяца (январь) / of the coldest month (January)                                          | –20.1                                         | –17.8                                            |
| Среднегодовая температура воздуха, °C / Average annual air temperature, °C                                 | –5.5                                          | –1.1                                             |
| Количество дней со среднесуточной температурой воздуха:<br>Number of days with mean daily air temperature: |                                               |                                                  |
| выше / above 0 °C                                                                                          | 125                                           | 175                                              |
| выше / above 5 °C                                                                                          | 90                                            | 135                                              |
| выше / above 10 °C                                                                                         | 43                                            | 92                                               |
| Годовое количество осадков, мм / Annual precipitation, mm                                                  | 548                                           | 590                                              |
| Осадков летом, мм / in summer, mm                                                                          | 172                                           | 201                                              |
| Толщина снежного покрова, см / Snow cover thickness, cm                                                    | 74                                            | 64                                               |
| Глубина промерзания, см / Freezing depth, cm                                                               | 139                                           | 101                                              |

Таблица 3 / Table 3

### Концентрация углеводородов в органогенных горизонтах почв Concentration of hydrocarbons in organogenic soil horizons

| Почва<br>Soil           | Среднее арифметическое, мг/кг<br>Arithmetic mean, mg/kg | Коэффициент вариаций, %<br>Variation coefficient, % | Асимметрия<br>Asymmetry | Пороговая концентрация, мг/кг<br>Threshold concentration, mg/kg |
|-------------------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Albic Podzols           | 12.7 ± 2.0                                              | 33.1                                                | –0.29                   | 14.7                                                            |
| Folic Stagnic Podzols   | 13 ± 3                                                  | 45.7                                                | 0.57                    | 16                                                              |
| Histic Stagnic Podzols  | 22 ± 4                                                  | 30.9                                                | 0.37                    | 26                                                              |
| Gleyic Stagnic Retisols | 30 ± 10                                                 | 75.8                                                | 1.26                    | 40                                                              |
| Folic Stagnic Retisols  | 26 ± 4                                                  | 44.3                                                | 0.14                    | 30                                                              |
| Histic Stagnic Retisols | 32 ± 6                                                  | 38.7                                                | 0.28                    | 38                                                              |
| Histosols               | 19 ± 5                                                  | 52.9                                                | 2.35                    | 24                                                              |
| Fluvisols               | 21 ± 4                                                  | 43.3                                                | 1.26                    | 25                                                              |
| Haplic Cryosols         | 2.6 ± 0.8                                               | 39.7                                                | 0.19                    | 3.4                                                             |
| Spodic Cryosols         | 11 ± 5                                                  | 69.2                                                | 1.92                    | 16                                                              |
| Histic Cryosols         | 22 ± 9                                                  | 65.2                                                | 1.49                    | 31                                                              |
| Mollic Umbrisols        | 6.0 ± 2.5                                               | 16.7                                                | 0.00                    | 8.5                                                             |
| Haplic Umbrisols        | 9.7 ± 1.1                                               | 10.7                                                | –0.37                   | 10.8                                                            |
| Spodosols               | 5 ± 3                                                   | 40.0                                                | –0.75                   | 8                                                               |
| Stagnosols              | 8.5 ± 2.8                                               | 20.4                                                | –0.58                   | 11.3                                                            |

отложения, когда моренные суглинки перекрыты песками. Процессы педогенеза в горной части происходят на суглинистом элювии и элюво-делювии кристаллических пород [36].

Полученные сведения о концентрации УВ в органогенных горизонтах почв представлены в табл. 3. Эта информация послужила основой для актуализации имеющейся базы данных и для создания карты пространственного распределения УВ в исследованных типах почв европейского Северо-Востока России (рис. 2, см. на вклейке).

Установлено, что концентрация УВ в профилях исследованных типов почв зависит от рельефа местности и типа педогенеза, а также от гранулометрического состава материнских пород.

### Обсуждение

Анализ полученной информации показал, что распределение УВ в органогенных горизонтах исследованных типов почв имеет положительную асимметрию (см. табл. 3), то есть большинство значений концентраций УВ находится ниже среднего арифметического. Показано, что расхождение значений концентраций УВ для различных типов Retisols статистически незначимо, что обусловлено близостью гранулометрического состава данных почв и сходными параметрами накопления и миграции УВ в ландшафте. Аналогичное распределение УВ наблюдается в почвах, сформированных на аллювиальных и флювиогляциальных

песчаных отложениях. Однако абсолютные значения концентраций УВ в Podzols достоверно ниже, чем в почвах, развивающихся на суглинках. Содержание УВ в Umbrisols и Spodosols, формирующихся в горной части, невелико и имеет отрицательную асимметрию, что соответствует результатам других исследователей [37].

Сравнение профильного распределения УВ в почвах показало, что максимальная концентрация УВ приходится на органогенные горизонты, которые выступают в роли геохимического барьера при вымывании УВ вниз по профилю. При этом профильное распределение УВ более выражено в Retisols, формирующихся на суглинистых почвообразующих породах, и менее дифференцировано в Podzols на песках и супесях. Абсолютное содержание УВ во всех горизонтах Podzols ниже, чем в Retisols, и более равномерно по профилю. В верхних горизонтах Retisols происходит значительная аккумуляция УВ по сравнению с минеральными горизонтами Е, В и ВС (см. рис. 2, на вклейке).

Содержание УВ заметно отличается для почв различных типов ландшафта (рис. 3, см. на вклейке). Максимальные концентрации УВ (до  $32 \pm 6$  мг/кг) отмечены в Retisols (табл. 3), которые формируются в аккумулятивных и элювиально-аккумулятивных ландшафтах. В этих почвах происходит естественная концентрация УВ при формировании почв в результате низкой скорости минерализации органических остатков из-за повышенного переувлажнения и низкой микробиологической активности. Некоторые исследователи связывают накопление УВ в Retisols с латеральным привнесом из окружающих территорий [29].

В различных нормативных актах в области охраны окружающей среды [33, 38] упоминаются фоновые концентрации или «нормальные» уровни загрязняющих веществ в почве. Наши результаты показали, что концентрация УВ может сильно варьироваться даже в пределах одного типа почвы. Поэтому для эколого-гигиенических целей правильнее использовать не среднее арифметическое или медиану, а верхнее пороговое значение концентрации УВ для каждого типа почвы. Этот порог может быть представлен как фоновая концентрация УВ, определяемая как верхний 95%-й доверительный предел 95-го перцентиля для результатов, связанных с конкретным типом почвы [39]. В этом случае концентрации УВ можно считать типичными и широко распространёнными для определённого типа почвы вплоть до (и включая) рас-

считанной пороговой концентрации. Выбор 95%-го перцентиля несколько произволен, но он охватывает значительную часть нормальных фоновых колебаний, исключая экстремальные значения. Он также использовался в других подходах при определении фоновых концентраций для экологических целей [40, 41]. Как видно из табл. 3, максимальное пороговое значение концентрации УВ установлено на уровне 40 мг/кг для Gleyic Stagnic Retisols, которые наряду с другими Retisols занимают более 25% исследованной территории.

## Заключение

Полученные данные о концентрации природных УВ в различных фоновых почвах европейского Северо-Востока России с учётом ландшафтно-геохимических особенностей региона впервые дадут возможность оценить уровни загрязнения почв европейского Севера. Исследования показали, что в сравнении с почвами аккумулятивных ландшафтов почвы элювиальных территорий имеют более низкое содержание УВ. Различия в содержании УВ более выражены в почвах, образованных на суглинистых отложениях, по сравнению с песчаными. Органогенные горизонты, характеризующиеся высокой способностью к накоплению УВ, могут выступать в роли маркёров антропогенного воздействия на почвы. Концентрации УВ в них были использованы для актуализации существующей базы данных и карты содержания УВ в фоновых почвах европейской Арктики и Субарктики. Установлено, что пороговые значения концентрации УВ в исследованных почвах находятся в широком диапазоне от 3,4 (для Haplic Cryosols) до 40 мг/кг (для Gleyic Stagnic Retisols). Полученные значения пороговых концентраций УВ могут быть использованы в инженерно-экологических изысканиях и эколого-гигиенической экспертизе проектов при строительстве и эксплуатации буровых установок по добыче нефти и других углеводородов. Применение рассчитанных пороговых концентраций УВ в рамках эколого-гигиенических и инженерно-экологических исследований возможно при оценке проектов строительства и эксплуатации нефтяных и газовых скважин, а также объектов переработки и транспортировки сырья.

В дальнейшем база данных может быть расширена для почв других регионов, а список загрязняющих веществ дополнен тяжёлыми металлами, радионуклидами и т. д.

## Литература

(п.п. 1–6, 8–19, 21–24, 26, 27, 29, 30, 32, 34–41 см. References)

- Нигматов Л.Г., Медведев В.Е., Курякова Т.А., Трубников В.В. Экологические последствия воздействия отходов буровых установок на сельскохозяйственные культуры. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2017; (3): 207–9. <https://elibrary.ru/zayvib>
- Ишкова С.В., Троц Н.М., Горшкова О.В. Влияние нефтяных установок на загрязнение почвенного покрова тяжёлыми металлами и нефтепродуктами. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012; 14(5): 217–22. <https://elibrary.ru/pisyut>
- Алексеев И.И., Абакумов Е.В., Шамилишвили Г.А., Лодыгин Е.Д. Содержание тяжёлых металлов и углеводородов в почвах населённых пунктов Ямало-Ненецкого автономного округа. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(9): 818–21. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-9-818-821> <https://elibrary.ru/wwulhr>
- Абакумов Е.В., Лодыгин Е.Д., Габов Д.А., Крыленков В.А. Содержание полициклических ароматических углеводородов в почвах Антарктиды на примере российских полярных станций. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(1): 31–5. <https://elibrary.ru/rydzap>
- Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д. Геохимическая оценка экологического состояния почв. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(7): 623–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-7-623-628> <https://elibrary.ru/xwpbvb>
- СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания (с изменениями на 30 декабря 2022). М.; 2022.

## References

- Hassani S.S., Daraee M., Sobat Z. Advanced development in upstream of petroleum industry using nanotechnology. *Chin. J. Chem. Eng.* 2020; 28(6): 1483–91. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.02.030>
- Zhao F., Fan Y., Zhang S. Assessment of efficiency improvement and emission mitigation potentials in China's petroleum refining industry. *J. Clean. Prod.* 2021; 280: 124482. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124482>
- Ossai I.C., Ahmed A., Hassan A., Hamid F.S. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: a review. *Environ. Technol. Innov.* 2020; 17: 100526. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>
- Hoang S.A., Sarkar B., Seshadri B., Lamb D., Wijesekara H., Vithanage M., et al. Mitigation of petroleum-hydrocarbon-contaminated hazardous soils using organic amendments: a review. *J. Hazard Mater.* 2021; 416: 125702. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125702>
- Chaudhary D.K., Kim J. New insights into bioremediation strategies for oil-contaminated soil in cold environments. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 2019; 142: 58–72. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2019.05.001>
- Guryanova A., Ermakov V., Galyanin V., Artyushenko V., Sakharova T., Usenov I., et al. Quantitative analysis of total hydrocarbons and water in oil-contaminated soils with attenuated total reflection infrared spectroscopy. *J. Chemom.* 2017; 31(8): e2826. <https://doi.org/10.1002/cem.2826>
- Nigmatov L.G., Medvedev V.Ye., Kuryakova T.A., Trubnikov V.V. Ecological consequences of oil rigs wastes impact on farm crops. *Izvestiya*

- Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017; (3): 207–9. <https://elibrary.ru/zayvib> (in Russian)
8. Raji W.O., Obadare I.G., Odukoya M.A., Johnson L.M. Electrical resistivity mapping of oil spills in a coastal environment of Lagos, Nigeria. *Arab. J. Geosci.* 2018; 11(7): 144. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3470-1>
  9. Ambaye T.G., Vaccari M., Franzetti A., Prasad S., Formicola F., Rosatelli A., et al. Microbial electrochemical bioremediation of petroleum hydrocarbons (PHCs) pollution: recent advances and outlook. *Chem. Eng. J.* 2023; 452: 139372. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139372>
  10. Wu M., Ye X., Chen K., Li W., Yuan J., Jiang X. Bacterial community shift and hydrocarbon transformation during bioremediation of short-term petroleum-contaminated soil. *Environ. Pollut.* 2017; 223: 657–64. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.01.079>
  11. Pagnucco R., Phillips M.L. Comparative effectiveness of natural by-products and synthetic sorbents in oil spill booms. *J. Environ. Manag.* 2018; 225: 10–6. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.094>
  12. Wang Y., Wang J., Leng F., Chen J. Effects of oil pollution on indigenous bacterial diversity and community structure of soil in Fushun, Liaoning Province, China. *Geomicrobiol. J.* 2021; 38(2): 115–26. <https://doi.org/10.1080/01490451.2020.1817196>
  13. Da Silva Correa H., Blum C.T., Galvão F., Marinho L.T. Effects of oil contamination on plant growth and development: a review. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2022; 29(29): 43501–15. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19939-9>
  14. Ławniczak Ł., Woźniak-Karczewska M., Loibner A.P., Heipieper H.J., Chrzanoski Ł. Microbial degradation of hydrocarbons-basic principles for bioremediation: a review. *Molecules.* 2020; 25(4): 856. <https://doi.org/10.3390/molecules25040856>
  15. Gope M., Mastro R.E., George J., Balachandran S. Exposure and cancer risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the street dust of Asansol city, India. *Sustain. Cities Soc.* 2018; 38: 616–26. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.006>
  16. Abdelhaleem H.A.R., Zein H.S., Azeiz A., Sharaf A.N., Abdelhadi A.A. Identification and characterization of novel bacterial polyaromatic hydrocarbon-degrading enzymes as potential tools for cleaning up hydrocarbon pollutants from different environmental sources. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2019; 67: 108–16. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.02.009>
  17. Mokarram M., Saber A., Obeidi R. Effects of heavy metal contamination released by petrochemical plants on marine life and water quality of coastal area. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2021; 28(37): 51369–83. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13763-3>
  18. Podlesiński W., Dąbrowski H. Amphipods in estuarine and marine quality assessment – a review. *Oceanologia.* 2019; 61(2): 179–96. <https://doi.org/10.1016/j.oceano.2018.09.002>
  19. Hazaimah M.D., Ahmed E.S. Bioremediation perspectives and progress in petroleum pollution in the marine environment: A review. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2021; 28(39): 54238–59. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15598-4>
  20. Ishkova S.V.E., Trots N.M., Gorshkova O.V.E. Influence of oil installations on pollution of soil cover by heavy metals and oil products. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk.* 2012; 14(5): 217–22. <https://elibrary.ru/pisyut> (in Russian)
  21. Panagos P., Van Liedekerke M., Yigini Y., Montanarella L. Contaminated sites in Europe: review of the current situation based on data collected through a European network. *J. Environ. Public Health.* 2013; 2013: 158764. <https://doi.org/10.1155/2013/158764>
  22. Sharma V.K., Hicks S.D., Rivera W., Vazquez F.G. Hydrocarbon contamination in sediments of Nueces Bay, Texas. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2000; 65(2): 253–60. <https://doi.org/10.1007/s001280000122>
  23. Shi H., Zhang L., Yue L., Zheng G. Petroleum hydrocarbon contamination in surface sediments of Beiluohe Basins, China. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2008; 81(4): 416–21. <https://doi.org/10.1007/s00128-008-9419-4>
  24. Aislabie J.M., Saul D.J., Foght J.M. Bioremediation of hydrocarbon-contaminated polar soils. *Extremophiles.* 2006; 10: 171–9. <https://doi.org/10.1007/s00792-005-0498-4>
  25. Alekseev I.I., Abakumov E.V., Shamishvili G.A., Lodygin E.D. Heavy metals and hydrocarbons content in soils of settlements of the Yamal-Netets autonomous region. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2016; 95(9): 818–21. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-9-818-821> <https://elibrary.ru/wwulhr> (in Russian)
  26. Gomez F., Sartaj M. Optimization of field scale biopiles for bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminated soil at low temperature conditions by response surface methodology (RSM). *Biodeterior. Biodegrad.* 2014; 89: 103–9. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2014.01.010>
  27. Karppinen E.M., Stewart K.J., Farrell R.E., Siciliano S.D. Petroleum hydrocarbon remediation in frozen soil using a meat and bonemeal biochar plus fertilizer. *Chemosphere.* 2017; 173: 330–9. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.016>
  28. Abakumov E.V., Lodygin E.D., Gabov D.N., Krylenkov V.A. Polycyclic aromatic hydrocarbons content in antarctica soils as exemplified by the Russian polar stations. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2014; 93(1): 31–5. <https://elibrary.ru/rydzap> (in Russian)
  29. Beznosikov V.A., Lodygin E.D. Hydrocarbons in the background soils of the southern- and middle-taiga subzones of the Komi Republic. *Eurasian Soil Sci.* 2014; 47(7): 682–6. <https://doi.org/10.1134/S1064229314070059>
  30. Das S., Kuppunan N., Channashettar V.A., Lal B. Remediation of oily sludge- and oil-contaminated soil from petroleum industry: recent developments and future prospects. In: *Advances in Soil Microbiology: Recent Trends and Future Prospects. Microorganisms for Sustainability.* Volume 3. Singapore: Springer; 2018: 165–77. [https://doi.org/10.1007/978-981-10-6178-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-10-6178-3_9)
  31. Beznosikov V.A., Lodygin E.D. Geochemical assessment of ecological state of soils. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2018; 97(7): 623–8. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-7-623-628> <https://elibrary.ru/xwpxbv> (in Russian)
  32. Jiang Y., Brassington K.J., Prpich G., Paton G.I., Semple K.T., Pollard S.J.T., et al. Insights into the biodegradation of weathered hydrocarbons in contaminated soils by bioaugmentation and nutrient stimulation. *Chemosphere.* 2016; 161: 300–7. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.032>
  33. SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic norms and requirements to ensure safety and/or harmlessness of living environment factors for humans (as amended on 30 December 2022). Moscow; 2022. (in Russian)
  34. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources. International Soil Classification System for Naming Soils and Creating Legends for Soil Maps. Vienna: International Union of Soil Sciences (IUSS); 2022.
  35. Abakumov E.V., Tomashunas V.M., Lodygin E.D., Gabov D.N., Sokolov V.T., Krylenkov V.A., et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons in insular and coastal soils of the Russian Arctic. *Eurasian Soil Sci.* 2015; 48(12): 1300–5. <https://doi.org/10.1134/S1064229315120029>
  36. Zhangurov E.V., Starcev V.V., Dubrovskiy Y.A., Degteva S.V., Dymov A.A. Morphogenetic features of soils under mountainous larch forests and woodlands in the subpolar Urals. *Eurasian Soil Sci.* 2019; 52(12): 1463–76. <https://doi.org/10.1134/S1064229319120147>
  37. Liu Y., Wu Y., Xia Y., Lei T., Tian C., Hou X. Aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils of the northwest Qinling Mountains: Patterns, potential risk and an appraisal of the PAH ratios to infer their source. *J. Environ. Sci. Health.* 2017; 52(4): 320–32. <https://doi.org/10.1080/10934529.2016.1258865>
  38. Defra. Environmental Protection Act 1990: Part 2A Contaminated Land Statutory Guidance. London: Department for Environment, Food and Rural Affairs; 2012.
  39. Ander E.L., Johnson C.C., Cave M.R., Palumbo-Roe B., Nathanail C.P., Lark R.M. Methodology for the determination of normal background concentrations of contaminants in English soil. *Sci. Total Environ.* 2013; 454–455: 604–18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.005>
  40. APAT-ISS. Protocollo Operativo per la determinazione dei valori di fondo di metalli/metalloidi nei suoli dei siti d'interesse nazionale. Revisione 0. Rome; 2006. (in Italian)
  41. Khodary S.M., Negm A.M., Tawfik A. Geotechnical properties of the soils contaminated with oils, landfill leachate, and fertilizers. *Arab. J. Geosci.* 2018; 11: 13. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-3372-7>

## Сведения об авторах

**Лодыгин Евгений Дмитриевич**, доктор биол. наук, вед. науч. сотр. отд. почвоведения Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, Россия. E-mail: lodigin@ib.komisc.ru

**Алексеев Иван Ильич**, мл. науч. сотр. отд. почвоведения Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, Россия. E-mail: alekseevivan95@gmail.com

**Нестеров Борис Андреевич**, инженер-исследователь отд. почвоведения Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, Сыктывкар, Россия. E-mail: B-nesterov@mail.ru

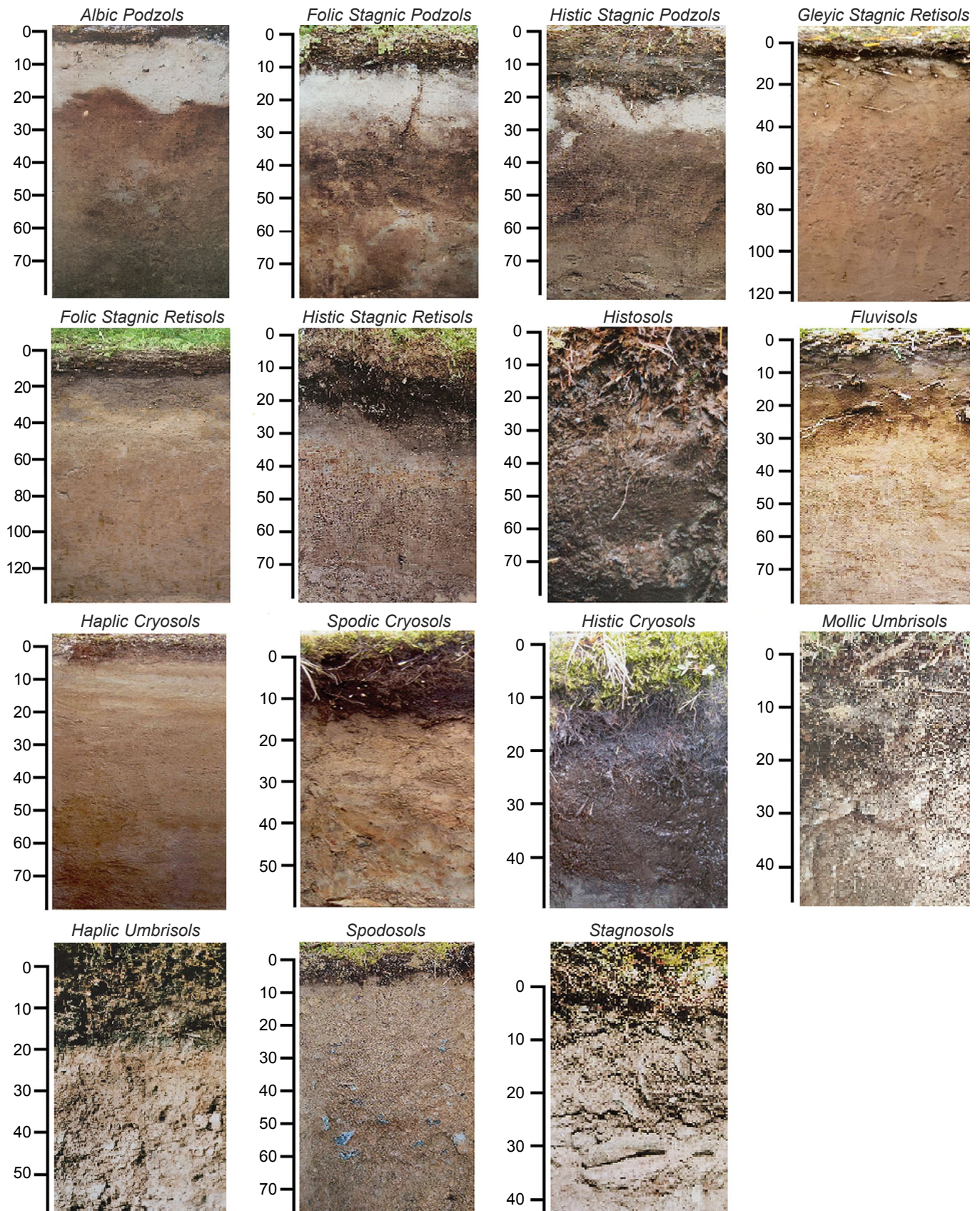
## Information about the authors

**Evgeny D. Lodygin**, DSc (Biology), leading researcher, Soil Science Department, Institute of Biology, Komi Federal Research Centre, Ural Branch of RAS, Syktyvkar, 167982, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0675-524X> E-mail: lodigin@ib.komisc.ru

**Ivan I. Alekseev**, junior researcher, Soil Science Department, Institute of Biology, Komi Federal Research Centre, Ural Branch of RAS, Syktyvkar, 167982, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-0512-3849> E-mail: alekseevivan95@gmail.com

**Boris A. Nesterov**, research engineer, Soil Science Department, Institute of Biology, Komi Federal Research Centre, Ural Branch of RAS, Syktyvkar, 167982, Russian Federation, <https://orcid.org/0009-0009-9509-6431> E-mail: B-nesterov@mail.ru

**К статье Е.Д. Лодыгина и соавт.**  
**To the article by Evgeny D. Lodygin et al.**



**Рис. 1.** Почвенные профили (глубина, см).

**Fig. 1.** Soil profiles (depth, cm).

К статье Е.Д. Лодыгина и соавт.  
To the article by Evgeny D. Lodygin et al.

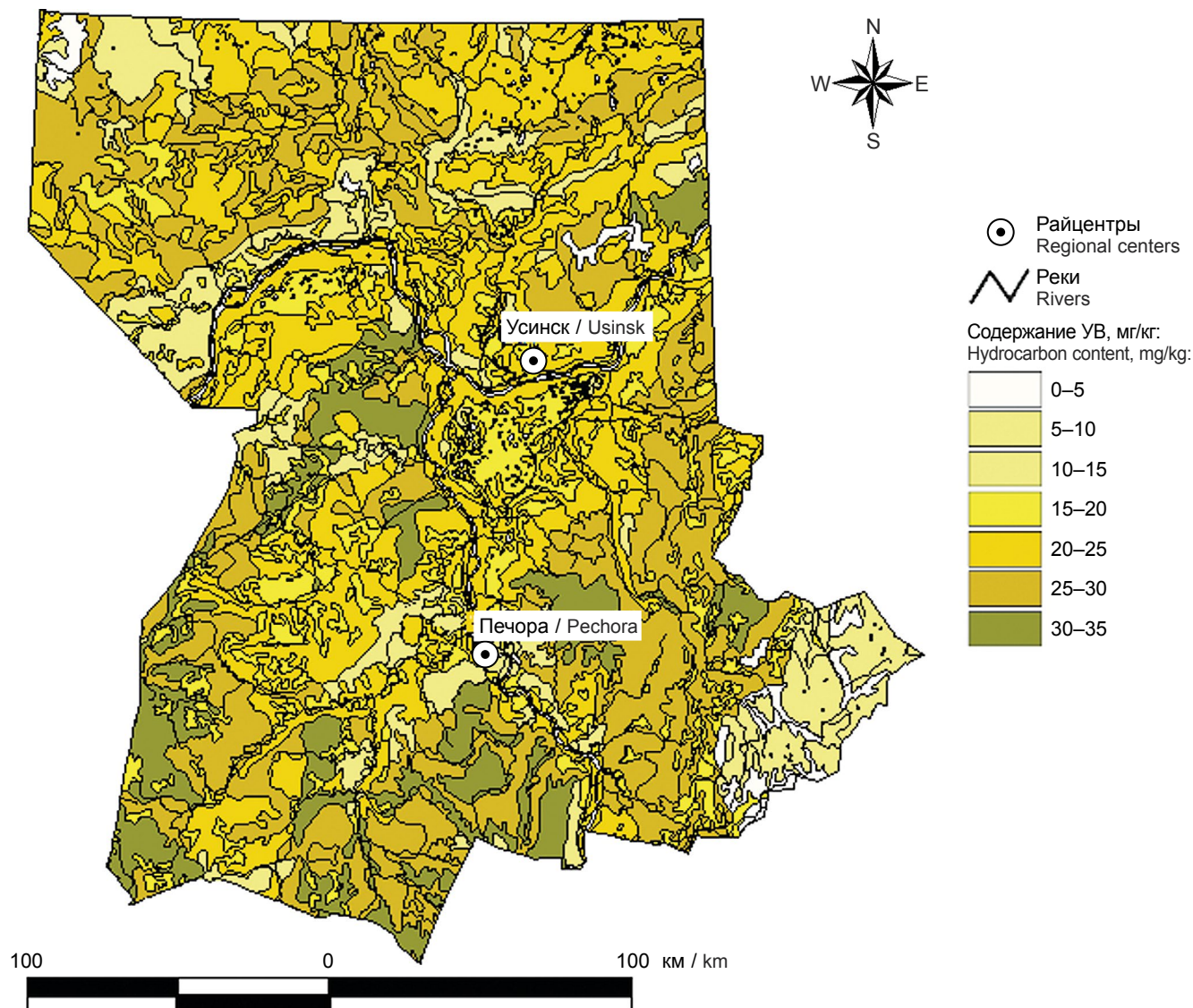


Рис. 2. Карта содержания углеводородов.

Fig. 2. Map of the hydrocarbon content.

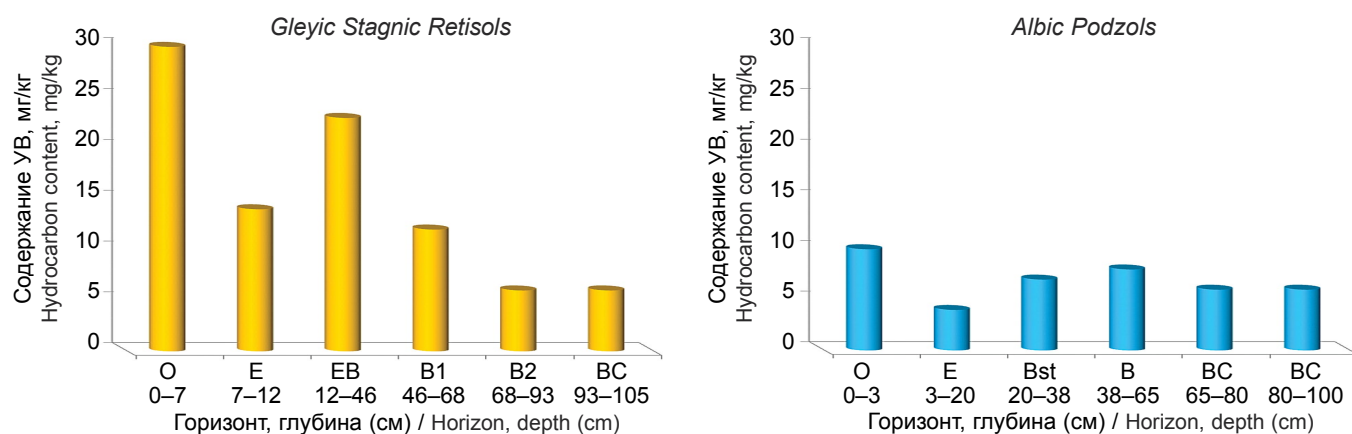


Рис. 3. Профильное распределение углеводородов.

Fig. 3. Hydrocarbon profile distribution.