

УДК 631.41: 631.46

## ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ НА СВОЙСТВА ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ)

© Н.И. Гранина, Е.В. Напрасникова

*Ключевые слова:* нефтепродукты; техногенная нагрузка; трансформация почв; восстановление; устойчивость почв; биологическая активность.

Приводены результаты исследования состояния и динамики свойств почв Заларинского района Иркутской области, подверженных длительному воздействию нефтепродуктов. Рассмотрены влияние региональных особенностей почвообразования на степень разложения нефтепродуктов и свойства почв. Через 20 лет после разлива нефти сформировался своеобразный ареал техногенных почв. Отмечено высокое содержание органического вещества, смещение реакции среды в нейтральную и щелочную сторону. Обнаружено увеличение суммы обменных оснований, утяжеление гранулометрического состава в органогенных горизонтах опорных разрезов, усиление оглеения в переувлажненных горизонтах, засоление и снижение биологической активности почв.

### ВВЕДЕНИЕ

Нефть в настоящее время – это важнейший энергоресурс и в то же время широко распространенный и наиболее токсичный загрязнитель окружающей среды. Проблема нефтяного загрязнения земель является чрезвычайно актуальной и требует всестороннего изучения.

Заларинский район – один из перспективных районов Иркутской области, основа региональной экономики, формируется большим потенциалом минерально-сырьевых и лесных ресурсов. Конкурентные преимущества района определяют месторождения угля и каменной соли. Крупнейшее предприятие – Тыретский солерудник – является лидером по добыче и переработке каменной соли «класса экстра» среди других субъектов Российской Федерации. Активное техногенное воздействие на территорию ухудшает экологическую ситуацию и сдерживает развитие сельскохозяйственного производства. Высокая чувствительность региональных почв к техногенному воздействию обуславливает необходимость оценки последствий загрязнения почв нефтепродуктами (НП), а также способности их к восстановлению.

Цель исследования направлена на изучение влияния загрязнения нефтепродуктами на свойства почв Заларинского района Иркутской области. В процессе исследований решались следующие задачи: 1) изучить специфику условий формирования и свойства почв территории исследования; 2) установить интенсивность и направленность процессов, протекающих в загрязненных нефтью почвах; 3) выявить закономерности изменения физических, химических и биологических показателей почв под влиянием длительного воздействия НП.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ

Объектами изучения служили фоновые и загрязненные НП серые, темно-серые лесные и лугово-болотные почвы, расположенные в пределах Заларин-

ского района Иркутской области. Почвенные разрезы заложены в месте Тыретского аварийного разлива нефти, произошедшего в 1993 г. на трубопроводе Красноярск–Иркутск. Отбор проб в разрезах проводили через 10 см. Аналитические исследования основных параметров физического и химического состава почв выполнены с использованием общепринятых в почвоведении методов [1–2]. Углерод органического вещества выполнен по методу Тюрина, гранулометрический состав – пиррофосфатным методом по Качинскому. Определение содержания НП в почве – на основе их экстракции из образца воздушно-сухой пробы почвы хлороформом, отделении от полярных соединений методом колоночной хроматографии после замены растворителя на гексан и количественном определении гравиметрическим методом (ПНДФ 16.1.41-2004). Для определения биологической активности почв применен экспресс-метод Т.В. Аристовской, М.В. Чугуновой [3]. Сущность метода заключается в регистрации скорости разложения карбамида, как модельного азотсодержащего органического вещества до аммиака.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По агропочвенному районированию Иркутской области район исследования входит в Тулуно-Иркутский округ с серыми и темно-серыми лесными почвами. Формирование почвенно-растительного покрова происходит в условиях резко континентального климата, развития современных сезонных и реликтовых криогенных процессов, выраженного бугристо-западного микрорельефа и значительной минерализации грунтовых вод.

**Климатическая характеристика района обследования.** Климат Заларинского района резко континентальный. Среднегодовая температура воздуха отрицательная. Абсолютный годовой максимум температуры воздуха по метеостанции Залари составляет +36 °С, а абсолютный минимум – 55 °С;  $\sum_{\text{воздуха}} > 10^{\circ} = 1400\text{--}1500$ . Продолжительность периода активной вегетации

в 100 дней, сокращается за счет позднеосенних и ранневесенних заморозков. Безморозный период короткий – до 87 дней. Сумма осадков составляет 206–250 мм. В летний период года осадки носят как дождевой, так и ливневый характер. Поздние сроки установления снежного покрова, небольшая его мощность и резкое нарастание отрицательных температур воздуха осенью и зимой приводят к глубокому промерзанию почвы.

**Почвообразующие породы.** Территория исследования расположена в южной части Сибирской платформы, сложенной осадочными породами нижнекембрийского возраста (ангарская свита), средневерхнекембрийскими (верхоленская свита) и юрскими образованиями (черемховская свита). Русло р. Унга проложено на площади развития закарстованных пород ангарской свиты нижнего кембрия. Карст – активный в связи с повышенной растворяющей способностью воды и наличием трещиноватых легко растворимых пород – известковистых и мергелистых доломитов, гипса [4].

Угленосные юрские образования Черемховской свиты распространены на интенсивно размытых кембрийских отложениях, формирующих водоразделы и склоны. Отложения сложены песчаниками на глинистом и карбонатном цементе, с переслаиванием аливралитов, углисто-глинистых сланцев и пластов угля. Отдельные пласты песчаников и угля интенсивно трещиноваты.

**Гидрохимические условия формирования.** Рассматриваемая территория находится на границе Иркутского и Илгинского артезианских бассейнов. Особенности гидрохимических условий формирования определяют анионы  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и катионы  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ , входящие в состав минерализованных подземных вод. Пресные воды с минерализацией 0,3–0,7 г/л и жесткостью 4–10 мг-экв/л формируются на ограниченных участках отложениями Черемховской свиты нижней юры. В среднем течении р. Унга распространены очень жесткие (10–30 мг-экв/л) солоноватые воды (1–3 г/л) с преобладанием сульфатов. По правобережью реки, несмотря на гидрокарбонатно-сульфатный состав воды, имеет место повышенное содержание железа до 10 мг/л. С глубиной качество воды заметно ухудшается [4–6]. В 26 км от железнодорожной станции Залари расположено Нукутское месторождение минеральных вод, которое относится к числу наиболее известных в Восточной Сибири. Водоносный слой – с глубины более 600 м. Минеральная вода с крепкими сульфидными, хлоридно-натриевыми рассолами, минерализацией 50–70 г/л в классификации подземных вод отнесена к крепчайшим. Рассолы являются аналогом сочинской «Мацесты», в их составе присутствуют большое количество разнообразных микроэлементов и сульфатредуцирующие бактерии, что делает их уникальными [7].

**Техногенное загрязнение почв** исследуемой территории произошло в 1993 г. на участке нефтепровода Красноярск–Иркутск. В результате разрыва шва магистрального нефтепровода в окрестностях с. Тьреть на поверхность вылилось более 32,4 тыс. т нефти. Принятые срочные меры по ликвидации последствий этой аварии позволили снизить негативные явления. Однако нефть проникла в недра и локализовалась в карстовых коллекторах нижнего кембрия в 150–300 м от действующего Тьретского хозяйственного водозабора подземных вод [4]. Кроме того нефть разлилась по правобережью р. Унга, затопив ее русло и пониженные участки поймы, в т. ч. 33 га сельхозугодий (поселений

Веренский и Юбилейный). Ширина территории загрязнения составила 700 м, протяженность – 2 км. В центре нефтяного пятна содержание НП превышало фоновый уровень (ФУ) в 7500 раз [8].

**Содержание нефтепродуктов в исследуемых почвах.** Через 20 лет после аварийного выброса на исследуемой территории сформировался своеобразный ареал загрязнения. Содержание НП в слое 30–40 см темно-серой лесной почвы составляет 5,6 мг/г, в переувлажненных горизонтах лугово-болотной почвы – 9,0 мг/г почв. Фоновые содержания НП лежат в пределах 0,02–0,13 мг/г.

**Химические свойства почв.** На исследуемой территории наибольшее распространение имеют серые почвы, в понижениях – темно-серые лесные почвы. На участке заболоченной поймы р. Унга с близким залеганием многолетней мерзлоты распространены мерзлотно-луговые, лугово-болотные почвы. Территория подвержена сильному техногенному воздействию, входит в сплошную полосу сельскохозяйственного освоения. Это усложнило выбор фоновых почв, поэтому при сопоставлении полученных данных нами использовались собственные аналитические данные, а также опубликованный и фондовый материал.

В морфологическом строении темно-серой лесной почвы, принятой нами в качестве фона, присутствуют признаки почв, вовлеченных ранее в землепользование. Наблюдается интенсивное накопление гумуса (до 9 %) в аккумулятивном горизонте, с резким снижением вниз по профилю (до 5 %), нейтральная реакция почвенной среды,  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  – 6,5–6,9, и слабокислая реакция солевой вытяжки,  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  – 5,3–5,7. Сохраняется соотношение  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} > \text{pH}_{\text{KCl}}$ . Почвы насыщены основаниями, в составе поглощающего комплекса преобладает кальций, содержание  $\Sigma_{\text{Ca, Mg}}$  до 55,8 мг-экв. В профиле почв нет выраженного элювиального горизонта.

**Кислотно-основные свойства почв.** Загрязнение почв нефтью приводит к сдвигу реакции среды в сторону подщелачивания. Так, в темно-серой лесной почве происходит смещение  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  до слабо щелочной, в серой лесной – до щелочной, за исключением аккумулятивного горизонта, где  $\text{pH}_{\text{KCl}} > \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  и  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 7,4$ .

В лугово-болотной почве, испытывающей влияние высокого загрязнения нефтью, наблюдается аналогичная закономерность – происходит подщелачивание и увеличение значений pH водной и солевой вытяжки,  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,6\text{--}7,3$ , распределение значений  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} > \text{pH}_{\text{KCl}}$ . Можно предполагать, что причиной изменения кислотно-основных свойств исследуемых почв является замещение иона водорода почвенного поглощающего комплекса натрием из сопутствующих нефти пластовых вод [9].

**Содержание органического вещества и окислительно-восстановительные свойства почв.** Избыток специфического органического вещества, входящего в состав компостированной нефти, нарушает общую закономерность распределения гумуса с глубиной. Для всех нефтезагрязненных почв характерно появление горизонтов с повышенным содержанием гумуса внутри почвенного профиля. Содержание гумуса может колебаться в значительных пределах от 1–5 % в серой лесной почве, 1–10 % в лугово-болотной почве и от 3–15 % в темно-серой лесной почве.

В серой лесной почве содержание гумуса меньше, чем в темно-серой лесной, и находится в пределах 4,84–0,90 %, в нефтезагрязненных слоях – до 1,81 %. В

лугово-болотной почве высокое содержание гумуса – до 9,88 % – наблюдается в аккумулятивном горизонте, в нижележащем торфяном горизонте – 6,9 %, в переувлажненном глеевом горизонте – от 2,57 до 1,41 %.

Избыток специфического органического вещества, входящего в состав нефти, способствует образованию гидрофобных пленок на поверхности почвенных частиц и ухудшению условий аэрации [9]. В нефтенасыщенных горизонтах происходит утяжеление гранулометрического состава. Вскрытая лугово-болотная почва характеризуется резким, устойчивым запахом нефти, что свидетельствует о высоком содержании остаточных НП. В нижних переувлажненных горизонтах определяется утяжеление гранулометрического состава и увеличение количества охристых пятен, подтверждающих усиление глеевого процесса. В результате дополнительного поступления железа из грунтовых вод и нефтяной эмульсии в оглеенных горизонтах происходит усиление анаэробного брожения углеводов, которое способствует подщелачиванию почвенного раствора и снижению величины гидролитической кислотности [10].

**Состав обменных оснований.** С увеличением срока компостирования возрастает общее количество обменных катионов в нефтезагрязненных горизонтах. Происходит значительное увеличение содержания обменного магния в почве, что связано с высвобождением обменных позиций, перегруппировкой катионов и дополнительным внедрением магния в ППК из нефтяной эмульсии. С течением времени углеводороды нефти подвергаются микробиологическому и иному окислению, что способствует постепенному возобновлению обменных реакций в почве [11].

Высокое содержание в почвах карбонатов препятствует развитию кислотности, приводит к возникновению щелочности, что оказывает важное влияние на подвижность многих веществ в почве и на их агроэкологические особенности [9].

**Анализ водной вытяжки.** На момент разлива в почву и грунтовые воды с нефтью поступило большое количество хлор- и сульфат-ионов, которые могут являться дополнительным источником засоления почв.

Почвы исследуемой территории по анионному составу солей отнесены нами к засоленным, с различной интенсивностью проявления процесса. Преобладают нейтральные сульфатно-хлоридный и хлоридно-сульфатный типы засоления. В профиле почв обнаруживаются слои с хлоридным типом засоления. В верхнем горизонте темно-серой лесной почвы, заложённой вблизи заградительной дамбы, проявляется щелочное пороговое и слабое сульфатно-хлоридно-содовое засоление. С глубины 60–70 см в нефтезагрязненных почвах обнаруживается осолонцевание.

Таким образом, через 20 лет после загрязнения концентрация токсичных НП снизилась. На территории исследования наблюдается устойчивый растительный покров. Вероятно, основную массу нефтепродуктов в данный момент составляют малотоксичные углеводороды и смолисто-асфальтеновые компоненты, не токсичные для заселения большинством видов растений [12]. Между тем обильная корневая система обнаруживается исключительно в верхних горизонтах почв в результате активизации здесь биологической активности [13]. В нижележащих горизонтах, с высоким содержанием гумуса, корни встречаются редко.

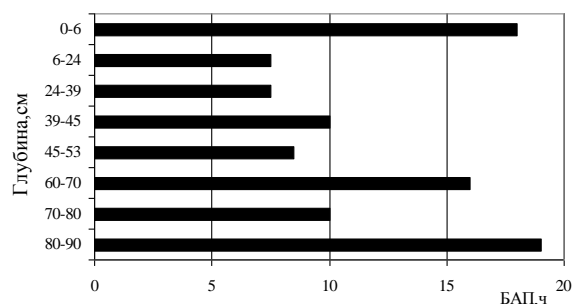
**Биологическая активность почв.** Результаты лабораторных исследований биологической активности почв (БАП) представлены на примере загрязненного (Р. 3) и контрольного (Р. 1) на рис. 1, 2.

Показатели активности исследуемых почв колеблются от 7,5 до 19 часов (далее ед.). Верхний горизонт, также как и большинство нижних, показал сравнительно слабую активность. На глубине 6–24, 24–39, 45–53 см степень БАП в пределах 7,5–8,5 ед. Интерес вызывает очень низкая активность верхнего горизонта. Это можно объяснить большим количеством нефти в данном поверхностном слое, который как фильтр принял на себя первый «экологический удар». Далее результаты показывают пеструю картину (рис. 1).

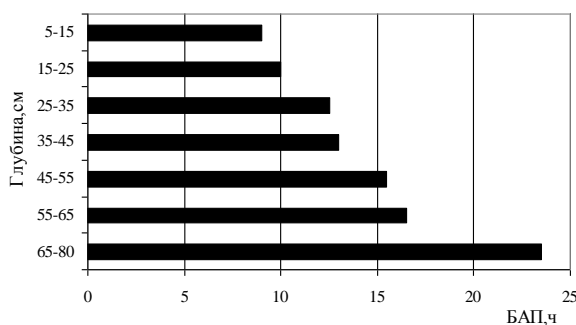
Самый низкий уровень БАП зарегистрирован в нижнем горизонте на глубине 80–90 см. Во-первых, со временем, видимо, не произошло ее окисление за счет небольшого количества кислорода в самых нижних горизонтах. Во-вторых, этот горизонт сам по себе в биохимическом плане малоактивен. По сравнению с контрольным разрезом (рис. 2) показатели отличаются значительно.

Результаты в контрольном варианте (Р. 1) ожидаемые, т. е. уровень активности убывает сравнительно плавно от верхних горизонтов к нижним. Общие показатели колеблются от 9 (5–15 см) до 23 ед. (65–80 см). Хорошо известно, что на течение сложных почвенно-биохимических процессов оказывает влияние множество факторов.

В данном случае приоритетным явилась нефть, которая определила изменения свойств почвы.



**Рис. 1.** Биологическая активность серой лесной почвы (БАП) под влиянием нефти (Р. 3): наименьшее количество часов соответствует наибольшей активности почвы



**Рис. 2.** Биологическая активность (БАП) контрольной почвы (Р. 1)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На всей исследуемой территории наблюдается природная направленность естественных процессов восстановления. Отсутствуют признаки угнетения растительности, отмечен устойчивый травостой. Между тем полученные данные позволяют говорить о том, что в результате загрязнения нефтью сформировался своеобразный ареал техногенных почв. В результате компостирования нефтепродуктов происходит изменение свойств почв: увеличение содержания органического вещества в тех горизонтах, куда нефть проникла и закрепились; смещение реакции почвенной среды в сторону щелочной; осолонцевание почв и усиление процессов оглеения. В целом уровень биологической активности насыщенной нефтью почвы значительно снижается и может привести к нарушению круговорота элемента – азота.

Следует отметить, что в условиях Сибири для полного разложения нефти требуется более длительный срок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Ариушикина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1962. 491 с.
2. *Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
3. *Аристовская Т.В., Чугунова М.В.* Экспресс-метод определения биологической активности почв // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142-147.
4. *Блохин Ю.И.* Проект на производство первоочередных гидрогеологических работ на участке аварии на нефтепроводе в пос. Тыреть на 1993–1994 гг. / Комитет РФ по геологии и использованию недр, ГПП «Иркутскгеология». Иркутск, 1993. 28 с.
5. *Блохин Ю.И., Топорков В.А., Могилевич А.Г.* Анализ эколого-гидрогеологической ситуации на участке Тыретьского водозабора подземных вод в период с 1998 по 2000 г. Отчет. Иркутск, 2001.
6. *Блохин Ю.И., Топорков В.А., Могилевич А.Г.* Анализ эколого-гидрогеологической ситуации на участке Тыретьского водозабора подземных вод в период с 1998 по 2000 г. Архив Иркутского районного нефтепроводного управления. Иркутск, 2001. 20 с.

Гранина Наталья Ивановна, Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Российская Федерация, кандидат биологических наук, доцент, зав. кафедрой почвоведения и оценки земельных ресурсов, e-mail: granina\_n@list.ru  
Granina Natalya Ivanovna, Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation, Candidate of Biology, Associate Professor, Head of Soil Science and Land Evaluation Department, e-mail: granina\_n@list.ru

Напрасникова Елизавета Викторовна, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, e-mail: napev@irigs.irk.ru

Naprasnikova Elizaveta Viktorovna, V.B. Sochava Institute of Geography SB of RAS, Irkutsk, Russian Federation Candidate of Biology, Associate Professor, Senior Research Worker, e-mail: napev@irigs.irk.ru

7. *Лопатовская О.Г., Сугаченко А.А.* Мелиорация почв. Засоленные почвы: учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. 00 с.
8. Восточно-Сибирская правда: общественно-политическая и деловая газета Иркутской области. 1993. 13 марта.
9. *Середина В.П., Андреева Т.А., Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н.* Оценка воздействия нефти на основные параметры химического состава почв // Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация. Томск: Изд-во ТПУ, 2006. С. 66-79.
10. *Солнцева Н.П., Садов А.П.* Закономерности миграции нефти и нефтепродуктов в почвах лесотундровых ландшафтов Западной Сибири // Почвоведение. 1998. С. 334-341.
11. *Ильин Н.П., Калачникова И.Г., Коркишко Т.И., Оборин А.А., Пиковский Ю.И., Постоногова Г.В., Трипольский В.И.* Наблюдения за самоочищением почв от нефти в средней и южной тайге // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 245-259.
12. *Глазовская М.А.* Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М., 1997. 102 с.
13. *Напрасникова Е.В.* Биологический подход в изучении почвенно-экологических особенностей геосистем Сибири // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. 2011. № 3 (17). С. 59-64.

Поступила в редакцию 3 июля 2014 г.

Granina N.I., Naprasnikova E.V. INFLUENCE OF PETROLEUM-DERIVED CONTAMINANTS ON SOIL PROPERTIES (ON EXAMPLE OF IRKUTSK REGION)

The results from investigating the state and dynamics of the soils in the Zalarinskii district of Irkutsk oblast undergoing a long-lasting impact of petroleum products are presented. The influence of the regional characteristics of soil formation on the properties of petroleum-contaminated soils is considered. A peculiar kind of area of technogenic soils has formed 20 years after the petroleum spill. High content levels of organic matter, and the shift of the medium reaction toward neutral and alkaline is observed. The study revealed an increase in the amount of exchangeable bases, a weight increase in particle-size composition in holorganic horizons of reference profiles, a salinization and an enhancement in gleying of overmoistened horizons, and a decline in biological activity of soils.

*Key words:* petroleum products; anthropogenic impact; transformation of soils; recovery; resistance of soils; biological activity.