



Читать  
онлайн  
Read  
online

Гайворонский В.Г., Кузина А.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Неведомая Е.Н., Казеев К.Ш.

## Способ определения экологически безопасного остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», 344090, Ростов-на-Дону, Россия

**Введение.** Черноморское побережье Кавказа — один из важнейших для России рекреационных и туристических регионов. В последние годы он подвергается резко возросшей антропогенной нагрузке в связи с ростом числа отдыхающих, сопровождающейся усилением транспортных потоков и, как следствие, ростом загрязнения окружающей среды, в том числе нефтяными углеводородами. Усиливаются риски утечки нефтепродуктов при транспортировках и перекачке. Для прогноза и предотвращения опасных последствий загрязнения необходимо определение экологически безопасного остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почве, основываясь на региональных эколого-геохимических особенностях почв.

**Материалы и методы.** Проведено лабораторное моделирование загрязнения нефтью и нефтепродуктами (мазут, бензин, дизельное топливо (ДТ)) дерново-карбонатной типичной почвы. Для моделирования загрязнения в образцы почв добавляли нефть и нефтепродукты: мазут, бензин, ДТ в весовой концентрации 1% (небольшое загрязнение), 5% (среднее загрязнение) и 10% (высокий уровень загрязнения) от массы почвы. Срок экспозиции составил 30 сут. По истечении указанного периода определяли изменение биологических показателей дерново-карбонатной типичной почвы (активность ферментов, длина корней редиса, численность почвенных бактерий). На основе перечисленных параметров рассчитывали интегральный показатель биологического состояния дерново-карбонатной типичной почвы (ИПБС).

**Результаты.** Загрязнение нефтью и нефтепродуктами негативно сказалось на биологических свойствах исследуемой почвы. Зафиксировано достоверное снижение ферментативной активности, численности бактерий, длины корней растений. Ряд токсичности исследуемых веществ на биологические показатели почв выглядит следующим образом: нефть > мазут > бензин > ДТ. Проведённое исследование позволило определить уровень предельно допустимого остаточного содержания (ПДОС) нефти и нефтепродуктов (мазута, бензина, ДТ): ПДОС<sub>нефть</sub> равен 0,27%, ПДОС<sub>бензин</sub> — 0,4%, ПДОС<sub>мазута</sub> — 0,3%, ПДОС<sub>ДТ</sub> — 0,45%.

**Ограничения исследования.** Предложенные ПДОС нефти и нефтепродуктов (мазута, бензина, ДТ) в почвах применимы прежде всего на территории Черноморского побережья Кавказа.

**Заключение.** Предложенные ПДОС нефти и нефтепродуктов (мазута, бензина, ДТ) в почвах районе нефтеперерабатывающего предприятия могут быть использованы природоохранными, сельскохозяйственными и научными организациями.

**Ключевые слова:** дерново-карбонатная типичная почва; загрязнение; мазут; бензин; дизельное топливо; нефть; устойчивость почв; предельно допустимый уровень остаточного содержания; Черноморское побережье Кавказа

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

**Для цитирования:** Гайворонский В.Г., Кузина А.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Неведомая Е.Н., Казеев К.Ш. Способ определения экологически безопасного остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(9): 987-992. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-987-992> <https://elibrary.ru/fz1gzn>

**Для корреспонденции:** Кузина Анна Андреевна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. каф. экологии и природопользования, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванковского, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону. E-mail: nyuta\_1990@mail.ru

**Участие авторов:** Гайворонский В.Г. — сбор данных литературы, написание текста, редактирование; Кузина А.А. — написание текста, редактирование; Колесников С.И. — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование; Минникова Т.В. — сбор материала и обработка данных, редактирование; Неведомая Е.Н. — сбор материала и обработка данных, статистическая обработка данных; Казеев К.Ш. — сбор материала и обработка данных, редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

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

**Финансирование.** Исследование выполнено при финансовой поддержке проекта Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030») (№ СП-12-23-01), Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (№ FENW-2023-0008) и Президента Российской Федерации (МК-2688.2022.1.5 и МК-175.2022.5).

Поступила: 18.05.2023 / Принята к печати: 26.09.2023 / Опубликована: 30.10.2023

Vladimir G. Gaivoronskiy, Anna A. Kuzina, Sergey I. Kolesnikov, Tatiana V. Minnikova, Elena N. Nevedomaya, Kamil Sh. Kazeev

## A method for determining the environmentally safe residual content of oil and petroleum products in soils

Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation

**Introduction.** The Black Sea Coast of the Caucasus is one of the most important recreational and tourist regions for Russia. In recent years, it has been subjected to a sharply increased anthropogenic load, due to an increase in the number of tourists, accompanied by an increase in traffic flows and, as a result, an increase in environmental pollution, including oil hydrocarbons. The risks of leakage of oil products during transportation and pumping are increasing. To predict and prevent dangerous consequences of pollution, it is necessary to determine the environmentally safe residual content of oil and oil products in the soil, based on the regional ecological and geochemical characteristics of soils.

**Materials and methods.** Laboratory modelling of contamination with oil and petroleum products (fuel oil, gasoline, diesel fuel) of sod-carbonate typical soil was carried out. To simulate pollution, oil and petroleum products were added to soil samples including fuel oil, gasoline, diesel fuel in a weight concentration of 1% (low pollution), 5% (medium pollution) and 10% (high pollution) of the soil mass. The exposure period lasted 30 days. After the specified period, changes in biological parameters (enzyme activity, radish root length, number of soil bacteria) were determined. Based on the listed parameters, the integral indicator of the biological state IIBS of the soil was calculated.

**Results.** Oil and oil products pollution negatively affected the biological properties of the studied soil. A significant decrease in enzymatic activity, the number of bacteria, and the length of plant roots was recorded. The range of toxicity of the studied substances on biological indicators of soils is as follows: oil > fuel oil > gasoline > diesel fuel. The study made it possible to determine the maximum level of residual content of oil and petroleum products (fuel oil, gasoline, diesel fuel) in the refinery. For oil, it is 0.27%, for gasoline – 0.40%, for fuel oil – 0.30%, for diesel fuel – 0.45%.

**Limitations.** The proposed limit levels of residual oil and petroleum products (fuel oil, gasoline, diesel fuel) in soils are applicable primarily on the territory of the Black Sea coast of the Caucasus.

**Conclusion.** The proposed limit levels of the residual content of oil and petroleum products (fuel oil, gasoline, diesel fuel) in the soils of the refinery area can be used by environmental, agricultural and scientific organizations.

**Keywords:** sod-calcareous typical soil; pollution; oil; fuel oil; gasoline; diesel fuel; soil stability; limit level of residual content; Black Sea coast of the Caucasus

**Compliance with ethical standards.** The study does not require an opinion from a biomedical ethics committee or other documents.

**For citation:** Gaivoronskiy V.G., Kuzina A.A., Kolesnikov S.I., Minnikova T.V., Nevedomaya E.N., Kazeev K.Sh. A method for determining the environmentally safe residual content of oil and petroleum products in soils. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(9): 987-992. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-987-992> <https://elibrary.ru/fztgen> (In Russ.)

**For correspondence:** Anna A. Kuzina, MD, PhD, senior researcher of the Department of ecology and environmental management of the Academy of biology and biotechnology named after D.I. Ivanovsky, Southern Federal University, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation. E-mail: nyuta\_1990@mail.ru

#### Information about the authors:

Gaivoronskiy V.G., <https://orcid.org/0000-0002-0402-3854>

Kuzina A.A., <https://orcid.org/0000-0001-8816-5288>

Kolesnikov S.I., <https://orcid.org/0000-0001-5860-8420>

Minnikova T.V., <https://orcid.org/0000-0002-9453-7137>

Nevedomaya E.N., <https://orcid.org/0000-0003-1194-0770>

Kazeev K.Sh., <https://orcid.org/0000-0002-0252-6212>

**Contribution:** Gaivoronskiy V.G. – literature data collection, text writing; Kuzina A.A. – text writing, editing; Kolesnikov S.I. – research concept and design, text writing, editing; Minnikova T.V. – collection of material and data processing, editing; Nevedomaya E.N. – collection of material and data processing, statistical data processing; Kazeev K.Sh. – collection of material and data processing, editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

**Conflict of interests.** The authors declare that there is no conflict of interest.

**Acknowledgment.** The research was financially supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation no. FENW-2023-0008, the President of the Russian Federation (МК-2688.2022.1.5 and МК-175.2022.5).

Received: May 18, 2023 / Accepted: September 26, 2023 / Published: October 30, 2023

## Введение

Черноморское побережье Кавказа – уникальный уголок природы на карте РФ. Здесь расположены основные рекреационные и туристические объекты нашей страны. Поток туристов в последнее время достигает рекордных значений\*. Однако помимо туристического направления на территории Черноморского побережья Кавказа располагается большое количество промышленных предприятий, в том числе один из старейших нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) России, основанный в середине XX века в г. Туапсе Краснодарского края, – ООО «РН-Туапсинский НПЗ». Ввиду возраста НПЗ многое оборудование технически и морально устарело и требует реконструкции. Возрастающая туристическая нагрузка на регион требует увеличения производительности всех отраслей, в том числе нефтеперерабатывающей. Всё это увеличивает риски разлива и утечки нефти и нефтепродуктов при транспортировке и переработке.

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами природных экосистем в последние десятилетия приобретает громадные масштабы, поскольку при добыче, транспортировке, перегонке, авариях на трубопроводах теряется до десятка миллиона тонн органического вещества [1]. Также зафиксировано отрицательное влияние на загрязнение поверхностных и подземных водоисточников даже вдали от нефтехимического предприятия [2]. Разливы нефти и нефтепродуктов создают постоянную угрозу для сельскохозяйственных угодий и лесного хозяйства [3, 4]. Они нарушают плодородие почв, вызывают изменения в физико-химических и микробиологических свойствах почвы, тем самым оказывая пагубное воздействие на наземные и водные экосистемы [5, 6].

Проникновение нефтепродуктов в почвенную массу вызывает химические и структурные изменения. Попавшие извне углеводороды ухудшают качественный состав органического вещества, меняют окислительно-восстановительные условия, подавляют фотосинтезирующие организмы, состав

микробиоценоза становится неустойчивым. Компоненты нефти имеют гидрофобный состав, и их внесение в почву приводит к изменению не только химических, но и физических свойств [7, 8], что приводит к нарушению аэрации, снижению pH, иммобилизации питательных веществ. Перечисленные параметры в основном и определяют почвенное плодородие [9, 10]. Такие изменения нарушают биологическое равновесие почвы, которое выражается в угнетении жизнедеятельности почвенной микрофлоры [11]. Снижается продуктивность почвы [12].

В сфере нормирования загрязнения почв нефтепродуктами (валового содержания) существует большой пробел, заключающийся в отсутствии предельно допустимой концентрации в нормативной базе Российской Федерации [13, 14].

Для прогноза и предотвращения опасных последствий разлива и загрязнения прилегающей территории нефтью и нефтепродуктами необходимо определение локального экологически безопасного остаточного содержания нефти и нефтепродуктов, основываясь на региональных, местных эколого-геохимических особенностях почв. Экоотоксичность нефтепродуктов и степень нарушения экологических функций почв предпочтительней оценивать по изменению наиболее чувствительных и информативных почвенных биологических параметров [15–19].

**Цель исследования** – определение регионального экологически безопасного остаточного содержания нефти и нефтепродуктов в почвах в районе нефтеперерабатывающего предприятия.

## Материалы и методы

На территории, прилегающей к ООО «РН-Туапсинский НПЗ (г. Туапсе), преобладает дерново-карбонатная типичная почва. Почву для модельных исследований отбирали вдали от НПЗ и других источников загрязнения, поэтому она может считаться фоновой для региона. Дерново-карбонатная типичная почва имеет следующие характеристики: содержание органического вещества – 4,8%, pH 7,3, тяжёлоуглистый гранулометрический состав почвы. В незагрязнённой почве определены показатели биологической активности почвы: общая численность бактерий – 2,6 млрд/г; активность каталазы – 4,5 мл O<sub>2</sub>/г почвы за 1 мин; активность дегидрогеназ – 7,7 мг ТФФ/г почвы за

\* Итоги социально-экономического развития санаторно-курортного и туристского комплекса Краснодарского края за 12 месяцев 2021 года [Электронный ресурс]. Официальный сайт Министерства курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края. URL: <https://kurort.krasnodar.ru/activity/reports/otchety-po-itogam-sotsialnoekonomicheskogo-razvitiya-sanatorno-kurortnogo-i-turistskogo-kompleksa> (дата обращения: 16.05.2023 г.).

Таблица 1 / Table 1

**Биологические (экоотоксикологические) показатели, используемые для оценки состояния загрязнённых почв**  
**Biological (ecotoxicological) indicators used to assess the condition of contaminated soils**

Название показателя Name of indicator	Метод определения Method of determination
Содержание органического вещества, % Content of organic matter, %	Методом окисления сернохромовой смесью со спектрофотометрическим окончанием (по методу Тюрина И.В.) By the method of oxidation with a sulfur-chromium mixture with a spectrophotometric ending (according to the method of Tyurin I.V.)
Гранулометрический состав почвы Granulometric composition of the soil	Метод пипетки по Качинскому Н.А. Pipette method according to Kachinsky N.A.
Общая численность бактерий, млрд в 1 г почвы Total number of bacteria, billion in 1 g of soil	Метод прямого подсчёта численности бактерий в люминесцентном микроскопе [22] (Звягинцев, 1987) The method of direct counting of the number of bacteria in a luminescent microscope [22] (Zvyagintsev, 1987)
Обилие бактерий рода <i>Azotobacter</i> , % комочков обрастания Abundance of bacteria of the genus <i>Azotobacter</i> , % of fouling lumps	Метод комочков обрастания почвы на среде Эшби [22] (Звягинцев, 1987) Soil lump method on Ashby medium [22] (Zvyagintsev, 1987)
Активность каталазы, мл O <sub>2</sub> на 1 г почвы за 1 мин Catalase activity, ml O <sub>2</sub> per 1 g of soil for 1 min	Волометрический метод по степени разложения перекиси водорода при контакте с почвой (по Галстяну А.Ш., (1978) Volumetric method according to the degree of decomposition of hydrogen peroxide upon contact with soil (according to Galstyan A.Sh., 1978)
Активность дегидрогеназ, мг ТФФ на 10 г почвы за 24 ч Dehydrogenase activity, mg TPP per 10 g of soil in 24 hours	По преобразованию трифенилтетразолия в трифенилформазан со спектрофотометрическим окончанием (по Галстяну А.Ш. в модификации Хазиева Ф.Х., 1990) [23] According to the conversion of triphenyltetrazolium to triphenylformazan, with a spectrophotometric ending (according to Galstyan A.Sh. in the modification of Khaziev F.Kh., 1990) [23]
Длина корней редиса ( <i>Raphanus sativus</i> L.), мм Length of radish roots ( <i>Raphanus sativus</i> L.), mm	Измерение длины корней редиса через 7 сут после начала эксперимента (по Бабьевой М.А., Зеновой Н.Г., 1989) [24] Measurement of the length of radish roots 7 days after the start of the experiment (according to Babieva M.A., Zenova N.G., 1989) [24]
Интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почв, % Integral indicator of the biological state (IBS) of soils, %	Метод основан на расчёте относительных значений каждого биологического показателя (по Колесников и соавт., 2019) The method is based on the calculation of the relative values of each biological indicator (according to Kolesnikov et al., 2019)

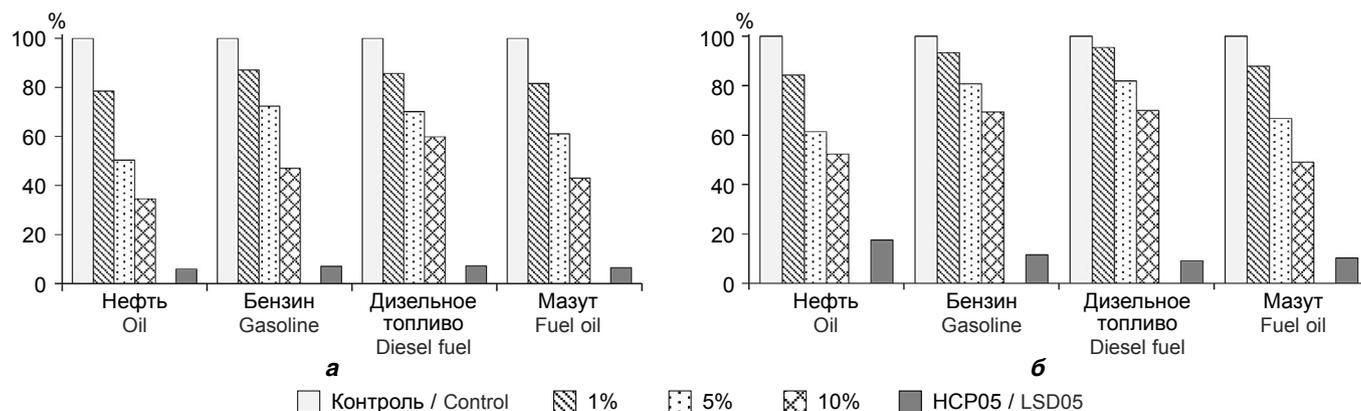
24 ч; обилие бактерий *Azotobacter* – 100% комочков обрастания. Для модельного эксперимента использовали верхний слой почвы (Апах = 0–15 см). В увлажнённые образцы почв массой 500 г (в 3-кратной повторности) добавляли нефть и нефтепродукты: мазут, бензин, дизельное топливо (ДТ) в весовой концентрации 1% (небольшое загрязнение), 5% (среднее загрязнение) и 10% (высокий уровень загрязнения) от массы почвы. Vegetационные сосуды с загрязнённой почвой инкубировали при температуре 20–22 °C и влажности почвы 25–30% инкубировали. Длительность экспозиции составила 30 сут. Именно за этот период наблюдается наиболее значительное снижение биологических показателей [20, 21]. В данной работе определены наиболее чувствительные и информативные биологические показатели почв при химическом загрязнении (табл. 1).

Расчёт предельного уровня остаточного содержания (ПДОС) нефти и нефтепродуктов проводили на основе нарушения (срыва) важнейшей группы экологических функций почв (целостных, химических и биологических функций), определяющих плодородие почвы. Как показали предыдущие исследования [21, 25], срыв этих групп функций происходит при снижении ИПБС более чем на 10% от контроля.

Статистическую обработку результатов исследования проводили с помощью программы Statistica 12.0.

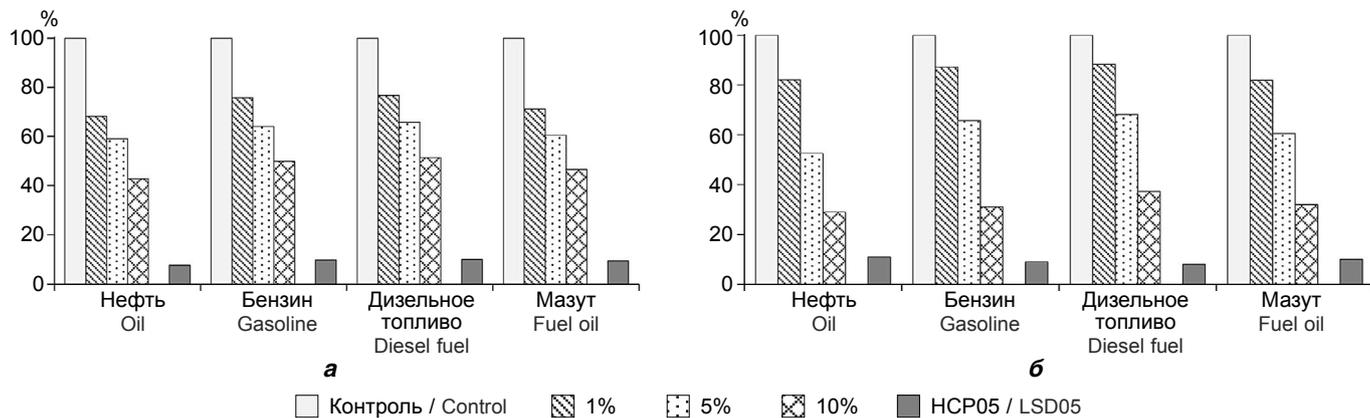
## Результаты

Активность каталазы при внесении 1% нефти от массы почвы снизилась на 21% относительно контроля (рис. 1). Внесение 5% нефти снизило активность каталазы и дегидро-

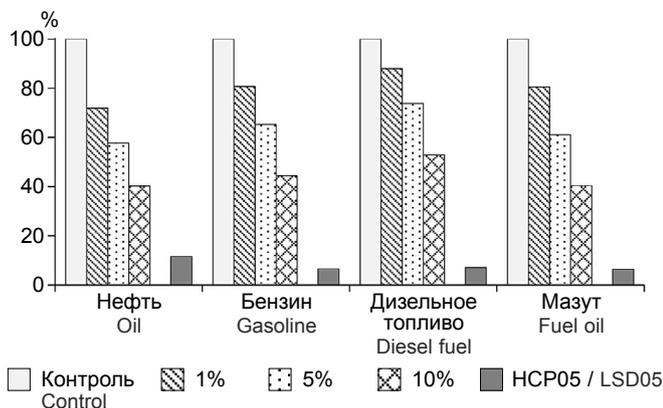


**Рис. 1.** Изменение активности каталазы (а) и дегидрогеназ (б) при загрязнении нефтью и нефтепродуктами.

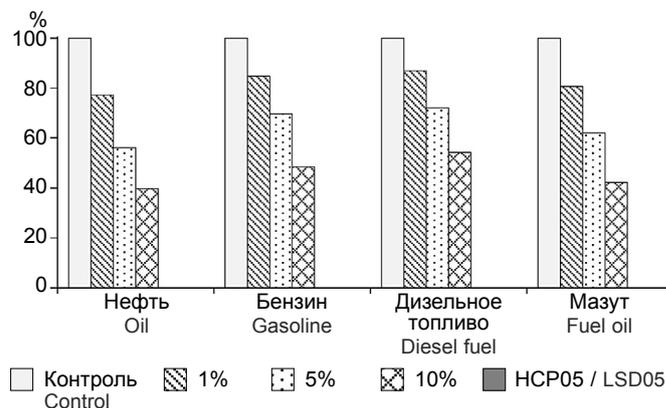
**Fig. 1.** Change in the catalase activity (a) and dehydrogenases (b) in oil and petroleum products contamination.



**Рис. 2.** Изменение численности бактерий рода *Azotobacter* spp. (а) и общего количества бактерий (б) при загрязнении нефтью и нефтепродуктами.  
**Fig. 2.** Change in the number of *Azotobacter* spp. (a) and the total number of bacteria (б) during contamination with oil and petroleum products.



**Рис. 3.** Изменение длины корней редиса (*Raphanus sativus*) при загрязнении нефтью и нефтепродуктами.  
**Fig. 3.** Change in the length of radish roots (*Raphanus sativus*) when contaminated with oil and petroleum products.



**Рис. 4.** Изменение ИПБС почвы в районе нефтеперерабатывающего предприятия при загрязнении нефтью и нефтепродуктами, % от контроля.  
**Fig. 4.** Change in the IIBS of the soil in the area of an oil refinery when oil and petroleum products are contaminated, % of the control.

геназ на 50 и 39% соответственно, 10% нефти – на 65 и 45% соответственно. При добавлении 1% бензина достоверно снизилась активность только каталазы на 13% относительно контроля. Внесение 5% бензина снизило активность каталазы и дегидрогеназ на 28 и 19% относительно контроля, 10% бензина – на 53 и 31%. Загрязнение ДТ концентрацией 1% от массы почвы достоверно снизило только активность каталазы на 14%, а внесение 5% ДТ – активность каталазы и дегидрогеназ на 30 и 18% относительно контроля, 10% ДТ – на 40 и 30%. Мазут в концентрации 1% инактивировал каталазу и дегидрогеназы на 9 и 12%, в концентрации 5% – на 39 и 33%, 10% мазута – на 57 и 51%.

Загрязнение 1% нефти от массы почвы ингибировало численность бактерий рода *Azotobacter* spp. и общую численность бактерий на 32 и 28% относительно контроля (рис. 2). Внесение 5% нефти снизило численность *Azotobacter* spp. и общую численность бактерий на 41 и 42%, 10% нефти – на 57 и 60%. При добавлении бензина 1% от массы почвы численность бактерий рода *Azotobacter* spp. и общая численность бактерий снизилась на 24 и 19% относительно контроля, при концентрации 5% бензина – на 36 и 35%, 10% – на 50 и 55% соответственно. Внесение 1% ДТ снизило численность бактерий рода *Azotobacter* spp. и общую численность бактерий на 23 и 12% относительно контроля, 5% ДТ – на 34 и 26%, 10% ДТ – на 49 и 47%. Загрязнение 1% мазута снизило общую численность бактерий и численность бактерий *Azotobacter* spp. на 28 и 29% относительно контроля, 5% мазута – на 39 и 51%, 10% мазута – на 53 и 66% соответственно.

При внесении 1% нефти длина корней редиса уменьшилась на 18% (рис. 3). Загрязнение 5 и 10% нефти снизило длину корней на 47 и 61% относительно контроля. При добавлении 1% бензина от массы почвы установлено снижение длины корней на 13%, при загрязнении 5% – на 34%, при внесении 10% – на 69% относительно контроля. Внесение 1% ДТ снизило длину корней на 12%, при 5% – на 32%, при 10% – на 63%. При внесении 1% мазута установлено снижение длины корней на 18%, при 5% мазута – 39%, при 10% мазута – 68% относительно контроля.

По проанализированным выше биологическим показателям рассчитывали интегральный показатель биологического состояния дерново-карбонатной почвы (рис. 4). С ростом концентрации нефти и нефтепродукта ИПБС снижался. Так, при загрязнении нефтью ИПБС почвы снизился на 42%, при загрязнении мазутом – на 38%, бензином – на 32%, ДТ – на 29% (см. рис. 4).

### Обсуждение

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами снижало биологические свойства дерново-карбонатной почвы. Зафиксировано достоверное снижение ферментативной активности, численности бактерий и длины корней редиса. Установлено, что степень снижения или ингибирования каждого биологического показателя непосредственно зависела от концентрации нефти и нефтепродукта. Ряд токсичности исследуемых веществ на биологические показатели почв выглядит сле-

Таблица 2 / Table 2

**Предельно допустимое остаточное содержание нефти и нефтепродуктов в почве в районе нефтеперерабатывающего предприятия, %****The maximum permissible residual content of oil and petroleum products in the soil in the area of the refinery, %**

Нефтепродукт / Oil product	ПДОС / MPRC
Нефть / Oil	0.27
Бензин / Gasoline	0.40
Мазут / Fuel oil	0.30
Дизельное топливо / Diesel fuel	0.45

дующим образом (в скобках указаны процентные значения ИПБС дерново-карбонатной почвы от контроля): нефть (58) > мазут (62) > бензин (68) > дизельное топливо (71). При загрязнении дерново-карбонатной почвы наиболее токсичным веществом является нефть, а наименее токсичным – дизельное топливо.

Проведённое исследование позволило определить предельно допустимый уровень остаточного содержания (ПДОС) нефти и нефтепродуктов (мазута, бензина, дизельного топлива) в дерново-карбонатной почве (табл. 2).

В качестве ПДОС выбрана концентрация, при которой нарушаются экологические функции почвы и естественное восстановление невозможно. Ранее такая методика оценки

допустимого содержания нефти апробирована на аридных почвах и бурых лесных почвах Центрального и Западного Кавказа, Республики Крым [26, 27]. Соответственно, как видно из табл. 2, ПДОС<sub>нефти</sub> в дерново-карбонатной почве составляет 0,27% от массы почвы, ПДОС<sub>бензина</sub> – 0,4%, ПДОС<sub>мазута</sub> – 0,3%, ПДОС<sub>дт</sub> – 0,45%. При таких концентрациях нефти и нефтепродуктов происходит нарушение целостных экологических функций почвы, определяющих её плодородие.

**Заключение**

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами негативно сказалось на биологических свойствах исследуемой почвы. Зафиксировано достоверное снижение ферментативной активности, численности бактерий и длины корней редиса. Установлено, что степень снижения каждого показателя непосредственно зависела от концентрации загрязняющего вещества. Ряд токсичности исследуемых веществ на биологические показатели дерново-карбонатной почвы выглядит следующим образом: нефть > мазут > бензин > дизельное топливо. Получены значения предельного остаточного содержания (ПДОС) нефти – 0,27%, мазута – 0,3%, бензина – 0,4%, дизельного топлива – 0,45%. Предложенные ПДОС нефти и нефтепродуктов (мазута, бензина, ДТ) в почвах применимы прежде всего на территории Черноморского побережья Кавказа и могут быть использованы природоохранными, сельскохозяйственными и научными организациями при нормировании загрязнения дерново-карбонатной почвы нефтью и нефтепродуктами.

**Литература**

(п.п. 3–9, 11, 12, 15, 16, 21 см. References)

1. Антонинова Н.Ю., Усманов А.И., Собенин А.В. Анализ процесса фиторемедиации нефтезагрязненного грунта с использованием торфо-диатомитового мелиоранта. *Проблемы недропользования*. 2020; (4): 110–8. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2020.04.110> <https://elibrary.ru/xqltry>
2. Валеев Т.К., Рахманин Ю.А., Сулейманов Р.А., Малышева А.Г., Бакиров А.Б., Рахматуллин Н.Р. и др. Опыт эколого-гигиенической оценки загрязнения водных объектов на территориях размещения предприятий нефтеперерабатывающих и нефтехимических комплексов. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(9): 886–93. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-886-893> <https://elibrary.ru/vrzzal>
3. Коршунова Т.Ю., Четвериков М.Д., Бакаева М.Д., Кузина Е.В., Рафикова Г.Ф., Четверикова Д.В. и др. Микроорганизмы в ликвидации последствий нефтяного загрязнения (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*. 2019; 55(4): 338–49. <https://doi.org/10.1134/S0555109919040093> <https://elibrary.ru/hnvrqu>
4. Околелова А.А., Желтобрюхов В.Ф., Тарасов А.П., Кастерина Н.Г. Особенности нормирования нефтепродуктов в почвенном покрове. *Фундаментальные исследования*. 2015; (12–2): 315–9. <https://elibrary.ru/vcjrff>
5. Ковалева Е.И., Яковлев А.С. Модель экологического нормирования нефтезагрязненных почв по изменению некоторых биогеоэкологических функций. *Экология и промышленность России*. 2018; 22(11): 34–9. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-11-34-39> <https://elibrary.ru/yhmhpxv>
6. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Цзянь С., Ян М. Методы биоиндикационной оценки состояния агроэкосистем: аналитический обзор. *АгроЭкоИнженерия*. 2022; (1): 19–42. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-1110-19-42> <https://elibrary.ru/ccvsqy>
7. Ковалева Е.И., Трофимов С.Я., Шоба С.А. Реакция высших растений на уровень нефтезагрязнения почв в вегетационном опыте. *Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение*. 2022; (3): 74–84. <https://elibrary.ru/wskhuu>
8. Русаков Н.В., Водянова М.А., Стародубова Н.Ю., Донерьян Л.Г. Методологические и концептуальные проблемы нормирования нефтезагрязненной в почве. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(10): 929–33. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-929-933> <https://elibrary.ru/zwsrpr>
9. Кузина А.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Гайворонский В.Г., Неведомая Е.Н., Тер-Мисакянц Т.А. и др. Экологически безопасные концентрации нефти в почвах Черноморского побережья Кавказа. *Экология и промышленность России*. 2021; 25(11): 61–5. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-11-61-65> <https://elibrary.ru/dofiof>
10. Звягинцев Д.Г. *Почва и микроорганизмы*. М.: МГУ; 1987.
11. Хазиев Ф.Х. *Методы почвенной энзимологии*. М.: Наука; 1990.
12. Бабьева М.А., Зенова Н.К. *Биология почв*. М.: МГУ; 1989.
13. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. *Экология почв. Учение об экологических функциях почв*. М.: Наука; 2006.
14. Дауд Р.М., Колесников С.И., Кузина А.А., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Разработка региональных предельно допустимых концентраций нефти в почвах аридных экосистем Юга России. *Экология и промышленность России*. 2019; 23(9): 66–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-9-66-71> <https://elibrary.ru/ffprbp>
15. Мошенко Д.И., Кузина А.А., Колесников С.И., Тер-Мисакянц Т.А., Неведомая Е.Н., Казеев К.Ш. Биодиагностика устойчивости бурых лесных почв Центрального Кавказа, Западного Кавказа и Республики Крым к загрязнению нефтью. *Экосистемы*. 2020; (24): 124–9. <https://elibrary.ru/ekdfkh>

**References**

1. Antoninova N.Yu., Usmanov A.I., Sobenin A.V. Analysis of phytoremediation process of oil-contaminated soil with use of peat and diatomite improver. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2020; (4): 110–8. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2020.04.110> <https://elibrary.ru/xqltry>
2. Valeev T.K., Rakhmanin Yu.A., Suleymanov R.A., Malysheva A.G., Bakirov A.B., Rakhmatullin N.R., et al. Experience on the environmental and hygienic assessment of water pollution in the territories referred to oil refining and petrochemical complexes. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(9): 886–93. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-886-893> <https://elibrary.ru/vrzzal> (in Russian)
3. Palma-Cruz Fde J., Pérez-Vargas J., Rivera Casado N.A., Gómez Guzmán O., Calva-Calva G. Phytoremediation potential and ecological and phenological changes of native pioneer plants from weathered oil spill-impacted sites at tropical wetlands. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2016; 23(16): 16359–71. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-6675-4>
4. Aigberua A. An assessment of trace metal pollution indicators in soils around oil well clusters. *Pet. Res.* 2021; 7(2): 275–85. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2021.09.001>
5. Bykova M.V., Pashkevich M.A. Engineering and ecological survey of oil-contaminated soils in industrial areas and efficient way to reduce the negative impact. In: *Scientific and Practical Studies of Raw Material Issues. Proceedings of the Russian-German Raw Materials Dialogue: A Collection of Young Scientists Papers and Discussion, 2019*. St. Petersburg; 2019: 135–42. <https://doi.org/10.1201/9781003017226-20> <https://elibrary.ru/oulgxd>

6. Amaechi J.U.J., Onweremadu B.U., Uzoho B.U., Chukwu E.D. Physico-chemical properties of wetland soils affected by crude oil spillage in Niger Delta area, Nigeria. *Int. J. Plant Soil Sci.* 2022; 34(24): 109–21. <https://doi.org/10.9734/ijpss/2022/v34i242619>
7. Marin-Garcia D.C., Adams R.H., Hernandez-Barajas R. Effect of crude petroleum on water repellency in a clayey alluvial soil. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 2016; 13: 55–64. <https://doi.org/10.1007/s13762-015-0838-6>
8. Gordon G., Stavi I., Shavit U., Rosenzweig R. Oil spill effects on soil hydrophobicity and related properties in a hyper-arid region. *Geoderma.* 2018; 312: 114–20. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.10.008>
9. Shukry W.M. Effect of petroleum crude oil on mineral nutrient elements, soil properties and bacterial biomass of the rhizosphere of jojoba. *Br. J. Environ. Clim. Change.* 2013; 3(1): 103–18. <https://doi.org/10.9734/BJECC/2013/2492>
10. Korshunova T.Yu., Chetverikov M.D., Bakaeva M.D., Kuzina E.V., Rafikova G.F., Chetverikova D.V., et al. Microorganisms in the elimination of oil pollution consequences (review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya.* 2019; 55(4): 338–49. <https://doi.org/10.1134/S0555109919040093> <https://elibrary.ru/hnvrqu> (in Russian)
11. Li Y., Li C., Xin Y., Huang T., Liu J. Petroleum pollution affects soil chemistry and reshapes the diversity and networks of microbial communities. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 2022; 246: 114129. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2022.114129>
12. Salam M.M.A., Ruhui W., Sinkkonen A., Pappinen A., Pulkkinen P. Effects of contaminated soil on the survival and growth performance of European (*Populus tremula* L.) and hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *Populus tremuloides* Michx.) clones based on stand density. *Plants (Basel).* 2022; 11(15): 1970. <https://doi.org/10.3390/plants11151970>
13. Okolelova A.A., Zheltobryukhov V.F., Tarasov A.P., Kasterina N.G. Features rationing of petroleum products in soil cover. *Fundamental'nye issledovaniya.* 2015; (12–2): 315–9. <https://elibrary.ru/vcjrff> (in Russian)
14. Kovaleva E.I., Yakovlev A.S. The model of environmental rationing of oil-contaminated soils by changing some biogeocenotical functions. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* 2018; 22(11): 34–9. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-11-34-39> <https://elibrary.ru/ymhxp> (in Russian)
15. Minnikova T., Ruseva A., Kolesnikov S. Assessment of ecological state of soils in southern Russia by petroleum hydrocarbons pollution after bioremediation. *Environ. Proc.* 2022; 9(3): 49. <https://doi.org/10.1007/s40710-022-00604-9>
16. Hewelke E., Szatyłowicz J., Hewelke P., Gnatowski T., Aghalarov R. The impact of diesel oil pollution on the hydrophobicity and CO<sub>2</sub> efflux of forest soils. *Water Air Soil Pollut.* 2018; 229(2): 51. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3720-6>
17. Rakut'ko E.N., Rakut'ko S.A., Jian S., Yang M. Bioindication methods for the agroecosystems assessment: a review. *AgroEkoinzheneriya.* 2022; (1): 19–42. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-1110-19-42> <https://elibrary.ru/ccvsqv> (in Russian)
18. Kovaleva E.I., Trofimov S.Ya., Shoba S.A. The reaction of higher plants to the oil contamination of soils in the pot experiment. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17: Pochvovedenie.* 2022; (3): 74–84. <https://elibrary.ru/wwkhuy> (in Russian)
19. Rusakov N.V., Vodyanova M.A., Starodubova N.Yu., Doner'yan L.G. Methodological and conceptual problems of oil pollution in soil. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal).* 2017; 96(10): 929–33. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-10-929-933> <https://elibrary.ru/zwsrpr> (in Russian)
20. Kuzina A.A., Kolesnikov S.I., Minnikova T.V., Gayvoronskiy V.G., Nevedomaya E.N., Ter-Misakants T.A., et al. Ecological safe concentrations of oil in the soils of the Black Sea coast of the Caucasus. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* 2021; 25(11): 61–5. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-11-61-65> <https://elibrary.ru/dofio> (in Russian)
21. Kolesnikov S.I., Kazeev K.S., Akimenko Y.V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters. *Environ. Monit. Assess.* 2019; 191(9): 544. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7718-3>
22. Zvyagintsev D.G. *Soil and Microorganisms [Pochva i mikroorganizmy]*. Moscow: MGU; 1987. (in Russian)
23. Khaziev F.Kh. *Methods of Soil Enzymology [Metody pochvennoy enzimologii]*. Moscow: Nauka; 1990. (in Russian)
24. Bab'eva M.A., Zenova N.K. *Soil Biology [Biologiya pochv]*. Moscow: MGU; 1989. (in Russian)
25. Dobrovol'skiy G.V., Nikitin E.D. *Ecology of Soils. The Doctrine of the Ecological Function of Soils [Ekologiya pochv. Uchenie ob ekologicheskikh funktsiyakh pochv]*. Moscow: Nauka; 2006. (in Russian)
26. Daud R.M., Kolesnikov S.I., Kuzina A.A., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. Development of regional maximum permissible concentrations of oil in the soils of arid ecosystems in the South of Russia. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii.* 2019; 23(9): 66–71. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-9-66-71> <https://elibrary.ru/ffprbp> (in Russian)
27. Moshchenko D.I., Kuzina A.A., Kolesnikov S.I., Ter-Misakants T.A., Nevedomaya E.N., Kazeev K.Sh. Biodiagnostics of resistance of brown forest soils of Central Caucasus, Western Caucasus and the Republic of Crimea to oil pollution. *Ekosistemy.* 2020; (24): 124–9. <https://elibrary.ru/ekdfkh> (in Russian)