

## СТАТЬИ

УДК 504:550.43

DOI 10.17513/use.38363

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА НА ТЕРРИТОРИИ,  
ГРАНИЧАЩЕЙ С НЕФТЕБАЗОЙ****<sup>1</sup>Кочетова Ж.Ю., <sup>1</sup>Вартазарова А.Э., <sup>2</sup>Косинова И.И.**

<sup>1</sup>*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж,  
e-mail: zk\_yva@mail.ru, an\_vartazarova@mail.ru;*

<sup>2</sup>*ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж,  
e-mail: kosinova777@yandex.ru*

Цель работы – оценка экологического риска на территории, прилегающей к нефтебазе в Воронеже, где по результатам ранее проводимых исследований складывается неблагоприятная экологическая ситуация вследствие утечек и разливов нефтепродуктов. Для оценки риска исследовали состояние почвы как депонирующей среды, отражающей длительное негативное воздействие эксплуатации нефтебазы на экологическое состояние территории. В качестве аналита-маркера загрязнения почвы рассматривали общее содержание нефтяных углеводородов. Для определения содержания нефтеуглеводородов в почве применяли метод пьезокварцевого микровзвешивания. Метод отличается от известных высокой чувствительностью, точностью и экономичностью, позволяет проводить измерения в полевых условиях без пробоотбора и пробоподготовки почв. На основании известных данных на первом этапе исследуемую территорию разделяли на три участка по степени загрязнения почвы: 1 – высокое; 2 – среднее; 3 – низкое. В каждой зоне отбирали по 3–4 пробы почвы с глубины 0,1; 0,5 и 0,8 м и измеряли в них концентрацию аналита-маркера. На втором этапе проводили оценку риска, связанную с загрязнением почвы нефтеуглеводородами. Для оценки риска использовали методы «доза-эффект» и корректирующих действий. Средние концентрации нефтеуглеводородов в почвах трех участков на глубине 0,5 м составили 2428, 1451 и 95 мг/кг. Оценка рисков позволила сделать вывод о том, что исследуемая территория является экологически опасной по целевому уровню загрязнения почвы. Исключение составляет участок 1. По токсическим характеристикам почвы на всех трех участках опасны для здоровья населения и требуют восстановления. Представленный в работе алгоритм исследования экологического риска на территории, прилегающей к нефтебазе в Воронеже, могут быть использованы для оценки рисков других объектов нефтяной промышленности.

**Ключевые слова:** загрязнение почв, нефтеуглеводороды, нефтебаза, «доза-эффект», метод корректирующих действий, экологический риск

**ENVIRONMENTAL RISK ASSESSMENT  
ON THE TERRITORY BORDERING THE OIL DEPOT****<sup>1</sup>Kochetova Zh.Yu., <sup>1</sup>Vartazarova A.E., <sup>2</sup>Kosinova I.I.**

<sup>1</sup>*Military Educational and Scientific Center of the Air Force N.E. Zhukovsky  
and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh,  
e-mail: zk\_yva@mail.ru, an\_vartazarova@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Voronezh State University, Voronezh, e-mail: kosinova777@yandex.ru*

The purpose of the work is to assess the environmental risk in the territory adjacent to the Voronezh oil depot, where, according to the results of previous studies, an unfavorable environmental situation is developing due to leaks and spills of petroleum products. To assess the risk, the state of the soil as a depositing medium was studied, reflecting the long-term negative impact of the operation of the oil depot on the ecological state of the territory. The total content of petroleum hydrocarbons was considered as an analyte marker of soil contamination. The piezoquartz microweighting method was used to determine the content of petroleum hydrocarbons in the soil. The method differs from the known ones in its high sensitivity, accuracy and cost-effectiveness, and allows measurements to be carried out in the field without sampling and sample preparation of soils. Based on the known data, at the first stage, the study area was divided into three sections according to the degree of soil contamination: 1 – high; 2 – medium; 3 – low. In each zone, 3–4 soil samples were taken from a depth of 0,1, 0,5, and 0,8 m and the concentration of the analyte marker was measured in them. At the second stage, a risk assessment was carried out related to soil contamination with petro-hydrocarbons. The methods of «dose-effect» and corrective actions were used to assess the risk. The average concentrations of petro-hydrocarbons in the soils of the three sites at a depth of 0,5 m were 2428, 1451 and 95 mg/kg. The risk assessment allowed us to conclude that the study area is environmentally hazardous in terms of the target level of soil pollution. The exception is site 1. According to the toxic characteristics of the soil in all three sites, they are dangerous to public health and require restoration. The algorithm presented in the paper for studying environmental risk in the territory adjacent to the Voronezh oil depot can be used to assess the risks of other oil industry facilities.

**Keywords:** soil pollution, hydrocarbons oil, tank farm, «dose-effect», method of corrective actions, environmental risk

### Введение

Добыча, переработка, транспортирование, хранение нефти и нефтепродуктов приводят к загрязнению окружающей среды во всем мире. Участвовавшие случаи террористических актов ставят экологическую ситуацию на объектах нефтепромышленности на грань катастрофической. Несмотря на то, что сама нефть и энергетические продукты из нее мало опасны, масштабы загрязнения и длительность трансформации нефтеуглеводородов (НУВ) в объектах окружающей среды приводят к ухудшению здоровья людей и даже гибели биоценозов [1, 2]. Оценка рисков получила международное признание как наиболее экономичный и обоснованный инструмент для экологического управления загрязненными участками [3]. Для оценки экологических рисков, связанных с загрязнением депонирующих сред нефтяными углеводородами, важно охарактеризовать источники и возможное пространственное распределение нефтеуглеводородов в объектах окружающей среды. Оценка рисков включает описание участка, количественную оценку рисков для человека и окружающей среды, а также выбор эффективных мероприятий по устранению последствий [4].

Оценку экологического риска проводили на территории, прилегающей к типичной нефтебазе, расположенной в густонаселенном районе Воронежа. Экологический мониторинг на этом объекте проводится уже

более 30 лет. В 1994 г. была обнаружена топливная линза на поверхности горизонта грунтовых вод с содержанием нефтеуглеводородов от 40 до 8051 мг/л и в грунтах – от 250 до 4850 мг/кг [5]. В 2022 г. в результате террористического акта произошел крупный выброс НУВ, сопровождающийся пожаром, что привело к значительному ухудшению экологической ситуации на территории нефтебазы [6]. Загрязнение почв на территориях, граничащих с нефтебазой, изучено недостаточно; остается открытым вопрос о необходимости проведения реабилитационных работ для снижения экологического риска.

**Цель работы** – оценка экологического риска на территории, прилегающей к нефтебазе Воронеже, и установление необходимости проведения мероприятий по экологической реабилитации загрязненной территории.

### Материалы и методы исследования

Нефтебаза расположена в Левобережном районе Воронежа в непосредственной близости к жилым и промышленным объектам. Хранилище эксплуатируется 78 лет, что позволяет его рассматривать как диагностическую модель с комплексом экологических рисков, формирующихся под воздействием нефтебаз первого уровня. Точки пробоотбора обусловлены установленным ранее расположением эколого-гидрогеохимической аномалии (рис. 1) [7].



Рис. 1. Эколого-гидрогеохимическая аномалия на нефтебазе и схема отбора проб на участках с высоким (1), средним (2) и низким (3) загрязнением почвы  
Источник: составлено авторами по [7]

Смесь нефтяных углеводородов в почвах является аналитом-маркером загрязнения окружающей среды на объектах нефтяной промышленности [8]. Концентрацию нефтеуглеводородов в почвах определяли суммарно «на месте» методом пьезокварцевого микровзвешивания с применением высокочувствительного анализатора газов [9]. Концентрацию НУВ в каждой пробе определяли не менее 3 раз в полевых условиях. В указанных на рис. 1 точках исследовали почвы на глубине 0,1; 0,5 и 0,8 м. Свойства почв на исследуемой территории подробно описаны ранее [5–7].

Для оценки риска применяли известную методику, позволяющую количественно определять потенциальный риск загрязнения для здоровья человека, экологический риск для живых организмов и природы. Он включает этапы: сбор и оценка данных, оценка воздействия, оценка токсичности, характеристика риска. Уравнение для расчета коэффициента опасности выглядит следующим образом:  $K_o = C_{факт} / C_{целевая}$  [3]. Коэффициент опасности от указанного воздействия должен быть меньше единицы. Градация загрязнения почв по содержанию НУВ включает уровни: 1) до 1000 мг/кг – низкое загрязнение; 1000–2000 мг/кг – среднее; 2000–3000 мг/кг – высокое; более 3000 мг/кг – очень высокое [5].

Для повышения точности и снижения экономических затрат при оценке экологических рисков на сравнительно масштабных территориях воздействия объектов нефтяной промышленности рекомендуется применять методику корректирующих действий. В методике используется многоуровневый подход, при котором корректирующие действия разрабатываются поэтапно с учетом задач оценки рисков и конкретных условий на исследуемом объекте. Методика включает три уровня, с каждым уровнем оценка риска усложняется и уточняется (рис. 2). Экономичность и точность такой оценки обусловлена тем, что на каждом уровне исключаются из рассмотрения те участки, которые соответствуют целевому уровню риска, а все усилия по мониторингу и расчетам сосредотачиваются на проблемной территории.

В соответствии с задачами расчет опасности может включать этапы оценки риска относительно целевой, допустимой и/или фоновой концентрации загрязнителя. Чем больше затраты на экологические исследования проблемных участков загрязненной территории, тем выше точность резуль-

татов исследования, эффект от принятых мер и меньше затраты на восстановление территорий.



Рис. 2. Схема корректирующей методики оценки экологического риска  
Источник: составлено авторами

В нормативных документах значения предельно допустимой концентрации (ПДК) для суммарного содержания НУВ в почвах отсутствуют, что является большой проблемой в оценке рисков при нефтезагрязнениях. В научной литературе рекомендованные ПДК могут отличаться на 3–4 порядка. Сложность установления нормативов для НУВ обусловлена многими факторами, основной из них – значительное влияние условий окружающей среды на поведение нефтеуглеводородов различной природы в почвах. Наиболее адекватное и научно обоснованное значение ПДК для НУВ определено экспериментально белорусскими учеными, оно составляет 100 мг/кг [10]. Часто вместо ПДК в расчетах используют фоновое содержание загрязнителя в почве, для Воронежского государственного заповедника  $C_{фон} = 32$  мг/кг [5].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения общего содержания НУВ на различной глубине почв представлены в табл. 1. Поверхностное загрязнение почвы НУВ на участках 1 и 2 различается незначительно, уровень загрязнения приближен к рангу – среднее. Однако на глубине 0,5 м концентрация углеводоро-

дов повышается в ~1,5–2 раза, что объясняется длительной фильтрацией НУВ через слой почвы и концентрированием их на геохимических барьерах. Здесь загрязнение почвы в одной из точек на участке 1 классифицируется как очень высокое. На глубине 0,8 м концентрации НУВ снижаются и практически не отличаются для участков 1 и 2. На участке 3, который менее подвержен воздействию нефтебазы, концентрация НУВ, напротив, максимальна в поверхностном слое почвы и убывает с глубиной. Здесь загрязнение почвы соответствует низкому рангу. Такое распределение загрязняющих веществ по высоте грунтов на участках с различной степенью техногенной нагрузки подтверждается ранее полученными выводами [11].

При оценке экологического риска концентрацию НУВ, установленную в результате химического анализа образцов почвы, сопоставляли с целевым уровнем (табл. 1). Целевой уровень поступления НУВ в почву принят равным 1000 мг/кг, что соответствует низкому уровню загрязнения почвы. Фоновые концентрации и значения менее 1000 мг/кг для оценки такого риска принимать не имеет смысла, так как на объектах нефтяной промышленности, эксплуатируемых почти столетие, эти уровни недостижимы. В то же время принятый в работе целевой уровень загрязнения почвы не-

фтяными углеводородами в 1,5 раза ниже рекомендованного ВОЗ и используемого для оценки экологического риска в западных странах.

В соответствии с этой методикой опасность загрязнения почв превышает единицу на предполагаемых проблемных участках 1 и 2, граничащих с ранее установленной эколого-гидрогеохимической аномалией на территории нефтебазы (рис. 1). На этих участках необходима рекультивация почвы глубиной не менее чем на 0,5 м.

При использовании корректирующего подхода к оценке экологического риска результаты химического анализа проб почвы интерпретируются следующим образом: ни в одном из слабо загрязненных образцов почвы (участок 3) содержание загрязняющих веществ не превышает целевого (приемлемого) уровня. В этом случае дальнейшее исследование должно быть прекращено, так как участок 3 не требует восстановления. Землепользование подобных участков в основном рекомендовано для промышленных целей, организации автостоянок, строительства нежилых помещений и т.д. В случае изменения типа землепользования для более чувствительных целей требуется повторная оценка риска, при которой устанавливается более жесткое неприемлемое воздействие из-за изменившихся критериев опасности.

Таблица 1

Фактическая концентрация нефтеуглеводородов в почве  $C_{факт}$ , мг/кг, и рассчитанный коэффициент опасности по целевому значению их концентрации  $K_o$

Участок	Глубина пробоотбора, м		
	0,1	0,5	0,8
1	1257±20	2375±44	423±10
	1014±17	3124±66	513±11
	1012±17	2428±48	506±11
$C_{ср\ факт} (K_o)$	1094±245 (1,1)	2428±749 (2,4)	480±90 (0,48)
2	974±17	1568±24	548±12
	1004±18	1591±24	617±12
	876±17	1248±18	522±12
	814±16	1374±21	435±10
$C_{ср\ факт} (K_o)$	917±190 (0,92)	1451±317 (1,5)	530±182 (0,53)
3	244±8	114±8	62±4
	237±8	106±8	65±4
	211±8	67±5	65±4
$C_{ср\ факт} (K_o)$	230±33 (0,23)	95±47 (0,95)	64±3 (0,64)

Таблица 2

Оценка коэффициентов опасности загрязнения почвы  
для человека и окружающей среды

Участок	1			2			3		
	0,1	0,5	0,8	0,1	0,5	0,8	0,1	0,5	0,8
Глубина пробоотбора, м	0,1	0,5	0,8	0,1	0,5	0,8	0,1	0,5	0,8
$C_{ср\ факт} / ПДК$	10,9	24,3	4,80	9,17	14,5	5,30	2,3	0,95	0,64
$C_{ср\ факт} / C_{фон}$	34,2	75,9	15,0	28,7	45,3	16,6	7,2	2,9	2,0

Концентрации НУВ в пробах почвы на участках 1 и 2 превышают целевой уровень на глубине отбора проб 0,5 м во всех исследуемых точках. В этом случае необходимо повысить достоверность данных путем расширения территории исследований, проведения новых химических анализов и расчетов риска. Рекомендуется исследование грунтов глубиной более 0,5 м в наиболее загрязненных точках пробоотбора.

При более жесткой оценке риска расчет коэффициента опасности проводят относительно ПДК или фоновых концентраций. Это соотношение характеризует токсичность почвы. Так как нефтебаза расположена в жилом районе города, этот этап в оценке риска является обязательным. Как правило, результаты оценки экологических рисков на объектах нефтяной промышленности указывают на то, что измеренная концентрация превышает и фон, и ПДК. Это свидетельствует о том, что последствия эксплуатации подобных объектов на протяжении долгого времени без восстановительных работ неприемлемы для здоровья людей. Рассматриваемое в работе воздействие нефтебазы на человека и окружающую среду не является исключением, расчеты показывают значительное превышение допустимой и фоновой концентраций на всех исследуемых участках в десятки раз (табл. 2). Сложившаяся экологическая ситуация на отдельных участках, граничащих с нефтебазой, только по содержанию аналита-маркера классифицируется как опасная. При этом надо понимать, что с увеличением концентрации нефтепродуктов в почве растет концентрация и многих других загрязнителей, так как НУВ изменяют физико-химические характеристики почв и способствуют накоплению тяжелых металлов, формальдегида, нитратов [12].

### Заключение

Оценка экологического риска на территории, граничащей с типичной нефтебазой

в Воронеже, проведена путем сравнения концентрации аналита-маркера загрязнения почв (нефтяных углеводородов) на участках, ранжируемых по уровню загрязнения. При этом использовали коэффициенты опасности, рассчитанные относительно целевой, предельно допустимой и фоновой концентраций. Целевые уровни экологической опасности превышены на двух загрязненных нефтепродуктами участках, в отдельных точках пробоотбора которых требуется рекультивация почв глубиной до 0,5 м. Третий мало загрязненный участок может быть использован для строительства нежилых объектов без восстановления почвы. Оценка токсической опасности почвы показала высокие риски для населения и окружающей среды на всех трех участках, расположенных вблизи нефтебазы. Максимальное превышение ПДК нефтеуглеводородов (в 24,3 раза) зафиксировано на первом участке на глубине отбора проб 0,5 м. На третьем участке повышенное загрязнение почвы, кратное 2,3 ПДК, установлено на глубине 0,1 м. Следовательно, для снижения рисков, связанных с угрозой здоровью населения, необходимо восстановление почв, информирование людей и проведение соответствующих медицинских мероприятий. Объемы рекультивационных работ должны быть уточнены с применением рассмотренного в работе корректирующего подхода к оценке рисков.

Представленный в работе алгоритм оценки экологического риска, отличающийся от известных использованием мобильного анализатора аналита-маркера загрязнения почв и корректирующего многоуровневого подхода, позволяет повысить точность и экономичность проведения исследования на сравнительно масштабных территориях. Алгоритм рекомендуется применять на объектах нефтяной промышленности при их штатной работе и в случае развития чрезвычайных ситуаций, а также на граничащих с ними территориях.

**Список литературы**

1. Оруджев Р.А., Джафарова Р.Э. Особенности токсического действия углеводородов нефти на организм человека // Вестник Витебского государственного медицинского университета. 2017. № 16 (4). С. 8–15.
2. Шамраев А.В., Шорина Т.С. Влияние нефти и нефтепродуктов на различные компоненты окружающей среды // Вестник Оренбургского государственного университета. 2009. № 6. С. 642–645.
3. Медведева С.А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки. XXI век // Техносферная безопасность. 2016. № 1 (1). С. 67–81.
4. Германова С.Е., Дрёмова Т.В., Самброс Н.Б., Петровская П.А. Управление и оценка рисков загрязнения почвы нефтепродуктами в АПК // Международный сельскохозяйственный журнал. 2020. № 1. С. 59–61.
5. Бокарев Д.В. Экологические проблемы загрязнения урбазосистем нефтепродуктами (на примере г. Воронежа) // Вестник Воронежского университета. Геология. 2000. Вып. 5 (10). С. 232–234.
6. Бударина В.А., Косинова И.И., Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В. Исследование влияния пожаров на загрязнение грунтов нефтепродуктами в зоне аэрации с применением «электронного носа» на пьезосенсорах // ГеоРиск. 2023. Т. 17, № 3. С. 48–57.
7. Косинова И.И., Бударина В.А., Фонова О.Г. Преобразование абиотических компонентов природной среды в районах длительно существующих объектов логистики нефтепродуктов // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2019. № 1. С. 88–92.
8. Васильев А.В., Быков Д.Е., Пименов А.А. Экологический мониторинг загрязнения почвы нефтесодержащими отходами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17, № 4–1. С. 269–272.
9. Кочетова Ж.Ю., Базарский О.В., Кучменко Т.А., Маслова Н.В. Экологические проблемы авиационно-ракетного кластера и оптимизация геомониторинга с применением пьезосенсорного датчика // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22, № 8. С. 32–38.
10. Рубин В.М., Ильюкова И.И., Кремко Л.М. Гигиеническое обоснование нормативов ПДК нефтепродуктов в почвах Республики Беларусь // Гигиена и санитария. 2013. № 92 (2). С. 99–101.
11. Kochetova Z.Y., Bazarskii O.V., Maslova N.V. Filtration of Heavy Metals in Soils with Different Degrees of Urbanization and Technogenic Load // Russian Journal of General Chemistry. 2018. Vol. 88, Is. 13. P. 2990–2996.
12. Кочетова Ж.Ю. Авиационно-ракетный кластер как новый класс объектов геоэкологического мониторинга // Географический вестник. 2019. № 3 (50). С. 79–91.