

УДК 504.53:665.6/7:504.73

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИИ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ  
АВАРИИ НА МАГИСТРАЛЬНОМ НЕФТЕПРОВОДЕ****Иванченкова О.А., Гамазин В.П., Луцевич А.А.***ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск,  
e-mail: oa-iva79@mail.ru*

В настоящей работе приведены результаты обследования нефтезагрязненной территории, возникшей в результате аварии на магистральном нефтепроводе более 20 лет назад. Рекогносцировочное обследование территории показало, что с течением времени нефтяное загрязнение привело к угнетению лесных пород и деградации растительного покрова. На поверхности почвы отчетливо наблюдались следы нефтепродуктов. С целью определения содержания нефтепродуктов в почве были отобраны пробы грунта и проведен лабораторный физико-химический анализ отобранных проб. Отбор проб проводился в весенний период. Для контроля загрязнения нефтью и нефтепродуктами точечные пробы отбирались послойно с глубины 0–20 и 20–40 см. Обработка результатов проводилась с помощью математического моделирования с применением компьютерного программного пакета – Mathcad. Результаты исследования выявили значительное превышение содержания нефтепродуктов в почве, что наблюдалось во всех отобранных пробах. Так, содержание нефтепродуктов в почве некоторых проб превышало фоновую концентрацию, характерную для данной местности, более чем в 80 раз. Максимальное значение концентрации нефтепродуктов в почве составило 30000 мг/кг, что более чем в 5 раз превышает безопасный уровень содержания нефти и нефтепродуктов в почве. На основании полученных данных степень нарушенности нефтезагрязненных земель определяется от высокой до очень высокой. На основании полученных экспериментальных результатов нами предложены мероприятия по восстановлению нарушенных земель, заключающиеся в санации почвы с последующей биоремедиацией нефтезагрязненной территории. Предложена математическая модель, которую можно использовать для обследования почвы, загрязненной нефтепродуктами.

**Ключевые слова:** нефтяное загрязнение, пробы почвы, нефтепродукты, деградация почв, растительный покров, концентрация

**ESTIMATION OF THE CONDITION OF THE TERRITORY POLLUTED  
AS A RESULT OF THE ACCIDENT ON THE MAIN OIL PIPELINE****Ivanchenkova O.A., Gamazin V.P., Lutsevich A.A.***Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bryansk State University  
Engineering and Technology», Bryansk, e-mail: oa-iva79@mail.ru*

This work is the result, of inspection of the petropolluted territory which appeared on the main oil pipeline more than 20 years ago. Reconnaissance of the territory shows that oil pollution has led to the oppression of wood breeds and degradation of vegetative cover. Mineral oil traces were distinctly observed on the soil surface. To define the content of mineral oil in soil tests the laboratory physical and chemical analysis of the selected samples has been carried out. Sampling was being spent during the spring period. To control the pollution with oil, dot samples were selected from the depth of 0-20 and 20-40 sm. Processing of the results was conducted by means of a computer software package – Mathcad. The research results have revealed the considerable excess of mineral oil content in all soil samples. So the mineral oil content in some soil samples exceeded background concentration which is typical for this area, in more than 80 times. The maximum value of mineral oil concentration in soil has made 30000 mg/kg which exceeds the safe level of the mineral oil content in soil more than in 5 times. Due to the received data, the disturbance degree of the petropolluted soils is defined from high to very high. On the basis received experimental results we offered the actions for restoration broken lands consisting in sanitation soil with the subsequent bioremediation of the petropolluted territory. The mathematical model which can be used for inspection soil polluted by oil products is offered.

**Keywords:** oil pollution, soil samples, mineral oil, degradation of soils, a vegetative cover, concentration

В настоящее время добыча, переработка и транспортировка нефти стремительно развивается и вносит значительный вклад в развитие экономики страны. Но не следует забывать о том, что данная отрасль может оказывать значительное влияние на все компоненты природной среды. На каждом этапе своего развития нефтяная промышленность может оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Добыча нефти приводит к деградации почвы и загрязнению мирового океана, переработка,

транспортировка – является источником загрязнения атмосферы, почвы и водных объектов, к тому же повсеместное использование углеводородов сказывается на состоянии всех компонентов природной среды, имея накопительный характер.

Загрязнение компонентов природной среды при транспортировке нефти и нефтепродуктов происходит в результате аварий на нефтепроводах, которые возникают в результате отказа механизмов, нарушения требований к эксплуатации оборудования,

а также несанкционированных врезок. Как правило, такие аварии имеют залповый характер и приводят к масштабным экологическим проблемам.

«Нефть представляет собой сложную смесь органических соединений: алканов, некоторых циклоалканов и ароматических углеводородов различной молекулярной массы, а также кислородных, сернистых и азотистых соединений, многие из которых высокотоксичны» [1].

Кроме того, нефть и ее органические соединения могут находиться в почве в парообразном, жидком подвижном и свободном неподвижном состоянии, а также в сорбируемом на частицах почвы виде и в виде плотной массы на поверхности [2].

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами, возникающее в результате аварий, приводит к значительным изменениям структур биоценозов и фитоценозов, что является причиной их деградации [3]. Сельскохозяйственные угодья на длительный период времени полностью изымаются из пользования.

Нефть приводит к изменению химического состава почвы, ее свойств и структуры. Прежде всего, это оказывает влияние на гумусовый горизонт, изменяя его состав, а также затрудняет поступление влаги к корням растений, что сказывается на физиологическом развитии растений, к тому же процесс самовосстановления почвы протекает очень медленно. Исходя из этого, целью работы является оценка состояния территории, подвергшейся нефтяному загрязнению в результате аварии нефтепровода, произошедшей более 20 лет назад.

#### **Материалы и методы исследования**

Для проведения исследования был выбран участок лесного массива Злынковского района Брянской области, на территории которого, в результате прорыва магистрального нефтепровода «Куйбышев – Унеча – Мозырь-1 и 2» компании АО «Транснефть-Дружба» произошел разлив нефтепродуктов. В результате чего территория площадью около 10 га оказалась залита нефтью, что привело к масштабному загрязнению почвенного покрова. С момента аварии на нефтепроводе до момента исследования прошло более 20 лет, однако на данной территории не проводились мероприятия по рекультивации нефтезагрязненной почвы, что привело к угнетённому состоянию лесных пород и деградации растительного покрова. На поверхности почвы отчетливо

наблюдались следы нефтепродуктов. Для исследования и оценки состояния почвенного покрова в 2017 г. были отобраны пробы почвы на загрязненной территории согласно известной методике [4]. Отбор проб почвогрунтов и определение массовой концентрации нефтепродуктов в отобранных пробах проводилось отделом аналитических исследований Брянского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Центральному федеральному округу», действующим на основании аттестата аккредитации № РОСС RU.0001.511747, выданного 07.12.2017 г. Для исследования отбирались пробы почвогрунта в одиннадцати определенных точках обследуемой площадки площадью 1x1 м с соответствующим послойным снятием грунта до глубины 10 см и последующей выемкой слоя грунта (проба) до глубины 20 см одноразовым совком из полипропилена на полиэтиленовую пленку. Вынутый грунт на месте подвергался усреднению. Последовательным квартованием проводилось взятие усредненной пробы в стеклянные емкости объемом 3 л с пришлифованными крышками. Аналогично проводился отбор пробы до глубины 40 см. Кроме того, для определения фонового содержания нефтепродуктов в почве, послойный отбор проб проводился на территории, не подвергшейся загрязнению нефтепродуктами в результате аварии магистрального нефтепровода. Координаты мест отбора проб представлены в табл. 1.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

На основании анализа литературных источников по данной проблеме можно сделать предположение о том, что легкие фракции нефти испаряются с поверхности разлива, оставшиеся тяжелые неиспарившиеся фракции нефти сорбируются минеральными и органическими компонентами почвенного покрова, в зависимости от гранулометрического состава и влажности грунта.

Почвы на территории района отбора проб представлены подзолистыми песчаными и супесчаными типами, на которых произрастают елово-сосновые леса, с участием мягколиственных и твердолиственных пород. Согласно единой классификационной шкале почв по гранулометрическому составу, предложенной В.И. Кирюшиным (1996), данный тип почвы включает фракции крупного и среднего песка и характеризуется

высокой водопроницаемостью и низкой влагоемкостью. Исходя из этого, сорбционная способность углеводородов в единице объема почвогрунта составит  $15 \text{ л/м}^3$ .

Так как разлив нефти произошёл более 20 лет назад, значительная часть нефти с поверхности почвы просочилась в нижние горизонты. Скорость и глубина инфильтрации зависят от таких факторов, как структура, состав, растительный покров, уровень грунтовых вод. В результате проведения ряда повторных измерений [5] были получены следующие данные, представленные в табл. 1.

Обработка результатов проводилась с помощью математического моделирования с применением компьютерного программного пакета – Mathcad.

Так как объект исследования оказывается под влиянием факторов, не имеющих количественной оценки, то использовался метод

дисперсионного анализа, который был предложен Р. Фишером и развит Р. Йейтсом [6].

Рассмотрим влияние мест отбора проб на содержание нефтепродуктов в почве. Для этого проведем вычисление средних арифметических величин по формулам

$$M = \sum_{i=1}^u m_i,$$

$$Y_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} y_{i,j}.$$

Отсюда  $k_0 = M - 1$ ,  $k_x = u - 1$ ,  $k_e = M - u$ .

Вычисление общей средней величины проводилось по формуле

$$Y_{CP} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^u \sum_{i=1}^{m_j} y_{j,i}.$$

Отсюда  $Y_{CP} = 8,989 \cdot 10^4$ .

**Таблица 1**

Содержание нефтепродуктов в пробах почвы

Место отбора пробы	Координаты точек отбора проб	Содержание нефтепродуктов на глубине горизонта 0–20 см, мг/кг	Содержание нефтепродуктов на глубине горизонта 20–40 см, мг/кг
Фоновая проба. Точка отбора № 1	52.413679, 31.785057	340	320
Территория участка «Северный» Точка отбора № 2	52.413102, 31.786001	98200	95000
Территория участка «Северный» Точка отбора № 3	52.413640, 31.786859	121000	116300
Территория участка «Северный» Точка отбора № 4	52.412597, 31.787181	104000	105500
Территория участка «Северный» Точка отбора № 5	52.412131, 31.786859	127000	129000
Фоновая проба. Точка отбора № 6	52.408758, 31.786459	310	270
Территория участка «Южный» Точка отбора № 7	52.408629, 31.789231	135000	137800
Территория участка «Южный» Точка отбора № 8	52.410197, 31.789327	179000	177500
Территория участка «Южный» Точка отбора № 9	52.409862, 31.789317	23000	27000
Территория участка «Южный» Точка отбора № 10	52.410053, 31.786876	69000	67500
Территория участка «Южный» Точка отбора № 11	52.409711, 31.786940	30000	34000
Территория участка «Южный» Точка отбора № 12	52.409324, 31.788260	78000	86300
Территория участка «Южный» Точка отбора № 13	52.411050, 31.788356	24600	27800

Вычисление дисперсий проводим по формулам

$$S_{x_2} = \frac{1}{k_x} \sum_{j=1}^u \sum_{i=1}^{m_j} (YCP - Y_j)^2,$$

$$S_{\varepsilon_2} = \frac{1}{k_\varepsilon} \sum_{j=1}^u \sum_{i=1}^{m_j} (y_{j,i} - Y_j)^2,$$

$$S_{O_2} = \frac{1}{k_0} \sum_{j=1}^u \sum_{i=1}^{m_j} (y_{j,i} - YCP)^2.$$

В результате получили

$$S_{x_2} = 7,647 \cdot 10^9 S_{O_2} = 2,39 \cdot 10^9 S_{\varepsilon_2} = 1,482 \cdot 10^3.$$

Вычисление статистики проводилось следующим образом:

$$F_b = \frac{S_{x_2}(M - u)}{S_{\varepsilon_2}(M - 1)}.$$

Отсюда  $F_b = 3,548 \cdot 10^6$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{k_x S_{x_2}}{M - 1}},$$

$$\alpha = 0,1, \dots$$

$$x_\alpha = qF(1 - \alpha, u - 1, M - u) \dots x_\alpha = 1,904.$$

В данном расчете статистики  $F_b$  критерия Фишера сравнивается со значением

встроенной функции  $qF(p, d1, d2)$ , используемой в Mathcad. При уровне значимости  $\alpha = 0,1$ , величина  $x_\alpha = 1,904$ .

Корреляционное отношение находим по формуле

$$\alpha = \sqrt{\frac{k_0 S_{O_2}}{M - 1}},$$

$$\sigma = 4,888 \cdot 10^4.$$

Плотность вероятностей величины загрязнения почвы нефтепродуктами в горизонтах 0–20 см и 20–40 см представлена на рис. 1 и 2.

Корреляционное отношение при исследовании содержания нефтепродуктов в горизонте 20–40 см соответствует  $\sigma = 4,733 \cdot 10^4$ .

Из приведенных вычислений следует, что уровень загрязнения почвы нефтепродуктами представляет величины, имеющие нормальное распределение:

- в горизонте 0–20 см  $4,888 \cdot 10^4 - 3,000 \cdot 10^5$ ;
- в горизонте 20–40 см  $4,733 \cdot 10^4 - 2,800 \cdot 10^5$ .

Уровни содержания нефтепродуктов в почве зависят от места и глубины отбора проб.

Согласно исследованиям, проведенным МакДжиллом, «при содержании нефти в почве от 20000–50000 мг/кг сухой почвы – степень нарушенности определяется от умеренной до высокой, а при содержании нефти в почве свыше 50000 мг/кг степень нарушенности определяется от высокой до очень высокой. Безопасный уровень содержания нефти в почве соответствует 5000 мг/кг» [7].

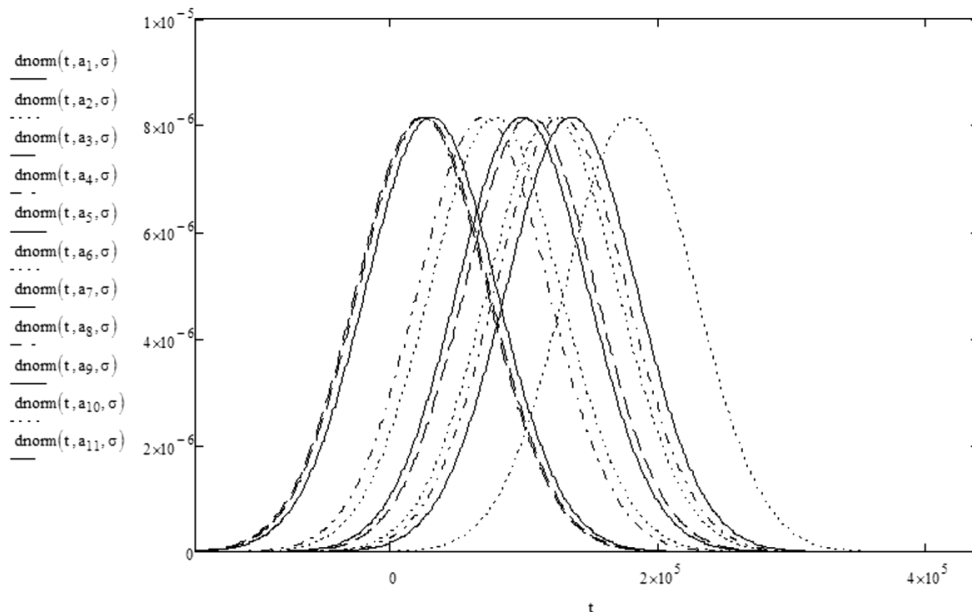


Рис. 1. График плотности вероятностей величины загрязнения почвы нефтепродуктами в горизонте 0–20 см

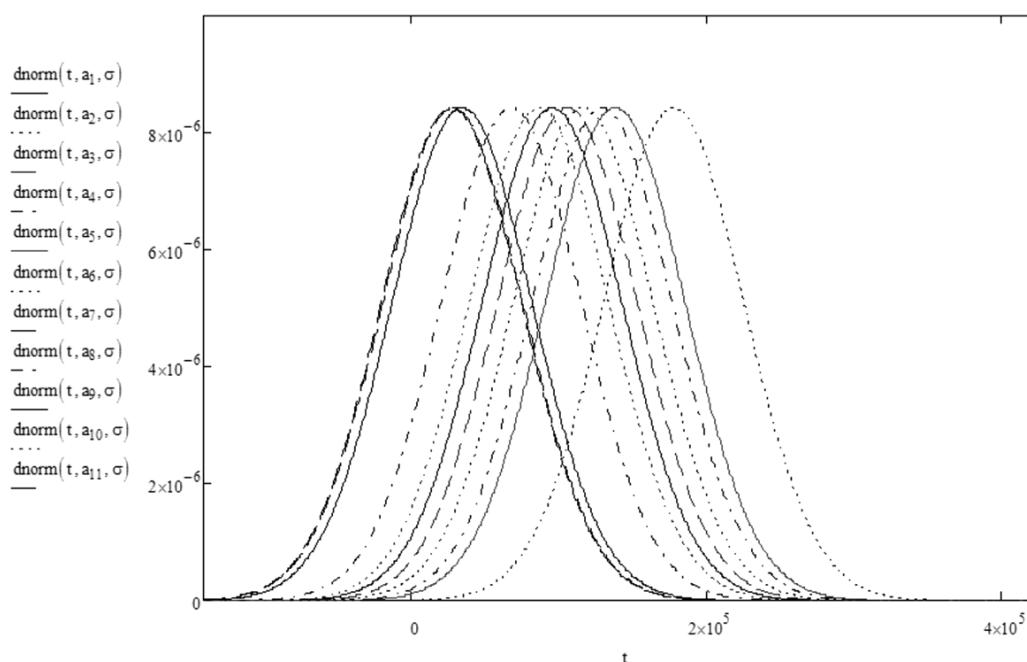


Рис. 2. График плотности вероятности величины загрязнения почвы нефтепродуктами в горизонте 20–40 см

Результаты исследования выявили значительное превышение содержания нефтепродуктов в почве в местах разлива нефти над фоновой концентрацией. Данное превышение в некоторых пробах достигает более чем 80 раз. Максимальное значение концентрации нефтепродуктов в почве более чем в 5 раз превышает безопасный уровень содержания нефти и нефтепродуктов в почве. Согласно полученным данным, уровень содержания нефтепродуктов в пробах почвы, отобранных на исследуемой территории, определяет степень нарушения от умеренной до высокой. При таком содержании нефти процесс восстановления почвы протекает медленно, что подтверждается результатами исследования.

Кроме того, наблюдалась неравномерность в загрязнении территории. Наибольшее содержание углеводов было обнаружено в пробах, отобранных недалеко от места прорыва нефтепровода. Проведенный анализ показал значительное содержание нефтепродуктов в горизонте почвы на глубине от 20 до 40 см. Это объясняется структурой почвы. Песчаные и супесчаные типы характеризуются пористой структурой, что приводит к инфильтрации вредных примесей в нижние горизонты. Это ведет к изменению водно-воздушного режима,

структуры почвы и миграционных способностей отдельных микроэлементов, а также нарушению корневого питания растений и растительного покрова [8].

С учетом уровня загрязнения почвы нефтепродуктами необходимо наметить проведение комплекса мероприятий, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных и загрязненных земель. Для этого предполагается провести санацию почвы с последующей биоремедиацией нефтезагрязненной территории. На первом этапе рекомендуется использовать механический метод очистки, путем вырубki лесных пород и снятия загрязненного слоя почвы, глубиной около 20–30 см. На втором этапе снятый слой почвенного покрова необходимо заменить смесью биопрепарата, песка и опилок. На третьем этапе провести посадку и посев растений, устойчивых к воздействию углеводов и способствующих очищению почвы от нефти.

### Выводы

1. Отсутствие мероприятий по восстановлению нефтезагрязненной почвы привело к угнетённому состоянию лесных пород и деградации растительного покрова.

2. Согласно результатам исследования, содержание нефтепродуктов в пробах по-



чвы, отобранных в местах разлива нефти, превышает фоновую концентрацию более чем в 80 раз. Кроме того, проведенный анализ показал превышение концентрации нефтепродуктов в почве над безопасным уровнем более чем в 5 раз. Максимальное значение концентрации нефтепродуктов в почве более чем в 30 раз превышает безопасный уровень содержания нефти и нефтепродуктов в почве. При таком содержании нефти процесс восстановления почвы будет проходить длительный период.

3. С учетом уровня загрязнения почвы нефтепродуктами необходимо провести комплекс мероприятий, направленных на восстановление продуктивности и хозяйственной ценности нарушенных и загрязненных земель.

#### Список литературы / References

1. Барабанщиков Д.А., Сердюкова А.Ф. Экологические проблемы нефтяной промышленности России // Молодой ученый. 2016. № 26. С. 727–731.  
Barabanshikov D.A., Serdyukova A.F. Ecological problems of the oil industry in Russia // Young Scientist. 2016. № 26. P. 727–731 (in Russian).
2. Подалов Ю.А. Экология нефтегазового производства. М.: Инфра-Инженерия, 2010. 412 с.  
Podavalov Yu.A. Ecology of oil and gas production. M.: Infra-Inzheneriya, 2010. 412 p. (in Russian).
3. Солнцева Н.П. Общие закономерности трансформации почв в районах добычи нефти (формы проявления, основные процессы, модели) // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 24–41.  
Solntseva N.P. General patterns of soil transformation in areas of oil production (manifestations, main processes, models) // Restoration of oil-contaminated soil ecosystems. M.: Nauka, 1988. P. 24–41 (in Russian).
4. ГОСТ 17.4.4.02-2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» от 17 апреля 2018 № 17.4.4.02-2017. М.: Стандартинформ, 2018. 12 с.
5. ГОСТ Р 54039-2010 «Качество почв. Экспресс-метод спектроскопии в ближней зоне инфракрасной области для определения содержания нефтепродуктов» от 30 ноября 2010 № 54039-2010. М.: Стандартинформ, 2018. 10 с.
6. Баранова И.М., Муравьев А.Н. Математическое моделирование. Брянск: РИО БГИТА, 2014. 214 с.  
Baranova I.M., Muravev A.N. Math modeling. Bryansk: RIO BGITA, 2014. 214 p. (in Russian).
7. McGill W.W. Soil restoration following oil spills – a review. J. Canad. Petrol. Technol. 1977. V. 16. № 2. P. 60–67.
8. Вержбицкий В.В., Андрианов И.И., Полтавская М.Д. Охрана окружающей среды в нефтегазовом деле: учеб. пособие. Ставрополь: СКФУ, 2014. 97 с.  
Verzhbitsky V.V., Andrianov I.I., Poltava M.D. Environmental protection in oil and gas business: manual. Stavropol: SKFU, 2014. 97 p. (in Russian).