


## Агротехнологии и мелиорация земель Agricultural technologies and land reclamation

DOI 10.22363/2312-797X-2021-16-2-146-153  
УДК 614.771:665.71:631.111.3:504.054

Научная статья / Research article

### Модель мониторинга нефтяного загрязнения почвы и его прекращения

С.Е. Германова  , Т.В. Магдеева , В.Г. Плющиков 

Российский университет дружбы народов, г. Москва, Российская Федерация  
 [germanova-se@rudn.ru](mailto:germanova-se@rudn.ru)

**Аннотация.** Оценка влияния хозяйственной деятельности нефтедобывающего комплекса России на загрязнение земель способствует принятию эволюционных управленческих решений. В нефтяном комплексе промышленное загрязнение отрицательно сказывается на флоре и фауне, поэтому необходимо определить уровень воздействия, степень его опасности, место заражения. Нужен системный подход. При изучении экологической среды важно учитывать наличие рискованных ситуаций и стохастических необратимых изменений. Идентификация характера и типа загрязнения почвы нефтепродуктами должна проводиться с использованием высокотехнологичного инструментария, интеллектуальных процедур. Рассмотрены моделирование ситуации загрязнения почв, прогнозирование и идентификация нефтяных загрязнений, также подмодель оптимального прекращения мониторинга. Прекращение наблюдений за оптимизацией окружающей среды приведет к снижению затрат на наблюдение, поскольку мониторинг загрязненной нефтепродуктами окружающей среды является дорогостоящим и сложным технологическим механизмом, часто требующим спутниковых данных. Предлагаемый алгоритм моделирования и системного анализа основан на ситуационном моделировании. Эволюционное моделирование позволяет адаптировать процедуру (методологию) прогнозирования и оценки к факторам риска окружающей среды. Это повышает точность (формализация и доказательность) и полноту выводов, оперативность анализа ситуации, что влияет на управляемость риска как для нефтяного комплекса, так и для отдельного предприятия отрасли. Результаты работы могут быть использованы для разработки программных средств, в частности экспертных и прогнозных систем. Ситуационные модели необходимы, когда нефтяные компании решают многокритериальные и многофакторные задачи принятия решений.

**Ключевые слова:** загрязнение, нефть, водная поверхность, эволюционное моделирование, мониторинг, прекращение мониторинга

#### История статьи:

Поступила в редакцию: 17 июля 2020 г. Принята к публикации: 23 апреля 2021 г.

© Германова С.Е., Магдеева Т.В., Плющиков В.Г., 2021



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/1>

**Для цитирования:**

Германова С.Е., Магдеева Т.В., Плющиков В.Г. Модель мониторинга нефтяного загрязнения почвы и его прекращения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. 2021. Т. 16. № 2. С. 146—153. doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-146-153

---

## Model of monitoring of oil soil pollution and its termination

Svetlana E. Germanova ✉, Tatiana V. Magdeeva , Vadim G. Plyushchikov 

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

✉ Corresponding author: germanova-se@rudn.ru

**Abstract.** The assessment of impact of oil production economic activities on land pollution in Russia contributes to evolutionary management decision making. Oil industrial pollution affects negatively flora and fauna. Thus, it's important to identify the level of its exposure and danger, the site of contamination. A system approach is needed. When studying the environment, it's necessary to consider the presence of risk situations and stochastic irreversible changes. It's essential to identify the nature and type of soil contamination with petroleum products using high-tech tools, intellectual procedures. The work considers modeling of such situation, forecasting and identification of oil contaminants. The submodel of optimal termination of monitoring is also considered. Ending monitoring of environmental optimization will result in lower monitoring costs, since monitoring oil-contaminated environments is an expensive and complex technological mechanism, often requiring satellite data. The proposed algorithm for modeling and system analysis is based on situational modeling. Evolutionary modeling allows to adapt the procedure (methodology) of forecasting and assessment to environmental risk factors. It increases the accuracy (formalization and evidence) and completeness of conclusions, the efficiency of situation analysis, which affects manageability of risk both for the oil complex and for individual enterprise in the industry. The results of the research may be used for development of software tools, in particular expert and predictive systems. Situational models are needed when oil companies are solving multi-criteria and multi-factor problems.

**Keywords:** pollution, oil, water surface, evolutionary modeling, monitoring, termination of monitoring

**Article history:**

Received: 17 July 2020. Accepted: 23 April 2021

**For citation:**

Germanova SE, Magdeeva TV, Plyushchikov VG. Model of monitoring of oil soil pollution and its termination. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2021; 16(2):146—153. (In Russ.) doi: 10.22363/2312-797X-2021-16-2-146-153

## Введение

Задача экологической чистоты производственной инфраструктуры хозяйствующих субъектов в добыче нефти, нефтяной промышленности — весьма актуальна. Требования экологических служб, нормативов следует соблюдать, иначе можно столкнуться не только с издержками предприятий, ликвидацией ущерба, но и воздействием вредоносных загрязнителей на население, экологическую среду.

Проблема мониторинга почвенных нефтяных загрязнений актуальна для такой крупной нефтедобывающей страны, как Россия. Дистанционному зондированию почвы, мониторингу и моделированию уделяется много внимания, в т.ч.

спутниковому, с применением БПЛА или высокоточных датчиков для облучения поверхности почвы и последующего анализа данных [1—6] и др.

Методы и процессы экологически грамотного функционирования нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий часто сложны, требуют сложно реализуемого (даже если и эффективного) мониторинга для обеспечения экологически допустимых параметров среды. Они ориентированы на общие издержки и общую прибыль (предельные доходы и издержки).

Современный экомониторинг — совокупность высокоинформативных и высокотехнологических и методических мер, процедур организации и проведения наблюдения, оценки (прогноза) текущей ситуации в заданной экосреде.

**Цель исследования** — изучение состояния, техногенного воздействия, загрязнения (с выявлением причин, источников), ущерба и нагрузки на среду, идентификация параметров и факторов, необходимых для карт (ГИС), например, по аномалиям и ЧС, для оперативного, автоматизированного контроля и классификации типов загрязнения, регистрации и наблюдения.

## Материалы и методы исследований

Релевантный инструментарий — прогнозирование и моделирование, не требующее сложного мониторинга, позволяющее управлять системными процессами нефтяного предприятия [7].

Пусть на предприятии нефтедобычи идет загрязнение почвы около рабочей (производственной) территории. Рассмотрим векторы концентраций загрязняющих факторов —  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  и воздействия загрязнителей (ПДК) —  $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ , причем  $x_i \leq y_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Учитываем эффективность влияния поллютанта на загрязненность:

$$R = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{y_i},$$

а также эффект их «суммарного» воздействия — усиления токсических характеристик загрязнения, способность к биоаккумуляции (усиления) или, наоборот, трансформации (ослабления).

Несмотря на прогрессивность применения дистанционных методов, мониторинг на основе даже высокоточного инструментария (например, спутникового зондирования [8]) осложняется высокой стоимостью проведения и избыточностью обрабатываемой информации. Ни от первого, ни от второго фактора избавиться при достаточных критериях качества идентификации загрязнений не удастся.

Одним из приемлемых (с точки зрения принятых критериев адекватности и эффективности) решений является инфологическое, технологическое использование Big Data [9], Data Mining [10] и других интеллектуальных систем анализа объемной информации, их селекции по информативности.

Другое решение — математическое, оптимальное прекращение мониторинговых мероприятий, без достижения «уровня нерентабельности мониторинговых исследований». Рассмотрим примеры обоих подходов.

## Результаты исследования и обсуждения

*Подход, ориентированный на Big Data и Data Mining.* При подобном подходе формируем Big Data, используя базы данных, например, загрязнителей (нефть и ее производные — бензин, дизельное топливо, керосин и др.), диапазонов изменений экспериментальных данных и предварительного статистического анализа [11]. Далее работают процедуры Data Mining: извлекается необходимая сигнальная информация, осуществляется нормировка и фильтрация данных, сравнение и анализ реальных сигналов с пороговыми значениями.

Для идентификации типа и вреда конкретного загрязнителя используется релевантное значение  $a_1$  результатов мониторинговых исследований и сравнение его близости к «эталонному» значению  $a_2$ . В качестве меры близости и пространства сходимости можно выбрать различные функционалы и пространства.

Например, для евклидова нормированного пространства можно использовать показатель интенсивности  $i(a)$  отражения спутникового сигнала от загрязнителя (по Big Data) и аналогичное нормированное значение  $I(\lambda)$  для незагрязненной поверхности, а в качестве метрики —

$$\rho(a_1, a_2) = \left| \frac{i(a_2)}{i(a_1)} - \frac{I(a_2)}{I(a_1)} \right|.$$

Критерий близости (идентификации) — максимизация минимального (по эталонам базы) значения  $\rho(a_1, a_2)$ :

$$F(a_i, a_j) \Rightarrow \max_{i,j} \left( \min_{m,k} (\rho_{mk}(a_1, a_2)) \right),$$

где

$$\rho_{mk} = \left| \frac{i^m(a_2)}{i^m(a_1)} - \frac{I^k(a_2)}{I^k(a_1)} \right|,$$

$m$  — вид нефтепродукта-загрязнителя;  $k$  — тип загрязняемой почвы.

Кроме вышеприведенного критерия близости загрязнителя к эталонному, отслеживается и критерий инструментальной точности, например, сигнал должен превышать значительно «шумы» («белый шум») измерений (правило «трех сигм»):

$$i^m(a_2), i^m(a_1), I^k(a_2), I^k(a_1) > 3\sigma,$$

где  $\sigma$  — среднеквадратичное значение «шума» регистратора.

Интегрируя оба критерия, можно предложить предикатное тело процедуры идентификации:

- 1) если пороговые значения  $I^*$  удовлетворяют условию

$$\left| \frac{I^*(a_2)}{I^*(a_1)} \right| \geq \left| \frac{I(a_2)}{I(a_1)} \right|,$$

то выбирается решение о загрязнении почвы;

- 2) если же выполнено условие

$$\left| \frac{I^*(a_2)}{I^*(a_1)} \right| < \left| \frac{I(a_2)}{I(a_1)} \right|,$$

то выбирается решение об отсутствии загрязнения.

Возможны и другие процедуры (критерии выбора решения), в т.ч. для идентификации загрязнения водной поверхности [12, 13].

*Проблема прекращения наблюдений и ее решение.* Важно определиться: когда и сколько времени проводить мониторинг, особенно с учетом стохастики процесса.

Пусть наблюдения можно описать марковскими цепями, определенными на множестве  $K = \{1, 2, \dots, k\}$ , имеющими матрицу переходных вероятностей  $P = \|P_{ij}\|, i = 1, 2, \dots, k$ . Она определяется статистической обработкой данных. Задаем функции  $f(i)$  выигрыша, если в состоянии  $i$  прекращаются наблюдения за состоянием среды.

Оптимальное состояние остановки наблюдений удовлетворяет [13, 14] соотношению

$$v(i) = \max\{f(i) - c(i) + \sum_{j=1}^k P_{ij} v(j)\},$$

где  $v(i)$  — функция цены (продолжения-остановки),  $i = 1, 2, \dots, k$ .

Данное рекуррентное соотношение может привести к оптимальному состоянию методом последовательных приближений:

$$v_0(i) = f(i), i = 1, 2, \dots, k,$$

$$v_n(i) = \max\left\{f(i) - c(i) + \sum_{j=1}^k P_{ij} v_{n-1}(j)\right\}, \quad n \geq 1.$$

Эти приближения сходятся, не убывая, к  $v(i)$ .

Задача эквивалентна задаче линейного программирования:

$$\min_{v_i} \sum_{i=1}^k d_i v_i,$$

$$v_i \geq f(i), \quad v_i \geq -c(i) + \sum_{j=1}^k P_{ij} v_j, \quad d_i \geq 0, \quad i \in K.$$

Пусть  $c = (c_1, c_2, \dots, c_k)$  — вектор стоимостей, фиксированных априори наблюдениями (экспертами). Тогда наблюдению  $l$  соответствует марковская цепь  $x_n^{(l)}$  с матрицей переходных вероятностей:

$$P_n^{(l)} = \|P_{ij}^{(l)}\|, \quad i, j = 1, 2, \dots, k, \quad l = 1, 2, \dots, L.$$

Если задается функция  $f(i)$  — выигрыш при остановке наблюдений в состоянии  $i$ , то цена  $v(i)$  удовлетворяет соотношению

$$v(i) = \max\left\{f(i), \max_{1 \leq l \leq L} \left(-c_i + \sum_{j=1}^k P_{ij}^{(l)} v(j)\right)\right\},$$

а сама цена определяется итерациями:

$$v_0(i) = f(i),$$

$$v_n(i) = \max\left\{f(i), \max_{1 \leq l \leq L} \left(-c_j + \sum_{j=1}^k P_{ij}^{(l)} v_{n-1}(i)\right)\right\}, \quad i \in K, n \geq 1,$$

В состояниях из множества

$$I = \left\{i: i \in E, v(i) = -c_l + \sum_{j=1}^k P_{ij}^{(l)} v(j)\right\}$$

следует использовать наблюдение  $l$ -го типа.

Оптимум может находиться по времени или суммарной выгоде (продолжения/прекращения) наблюдений.

Это аналог задачи оптимизации получения максимального дохода за единицу времени. Можно перебирать поочередно все состояния марковского процесса в качестве начального состояния, сравнивать доходы, выбирать наибольшие (наилучшие) из них. В каждый момент времени решается проблема выбора: продолжать-останавливать наблюдения?

Факторы, влияющие на выигрыш, динамически и стохастически меняются, учитываются в переходных вероятностях при статистическом анализе с использованием технического инструментария конкретного мониторинга [15].

## Выводы

В странах с развитым гео- и экомониторингом используют множество ГИС различного назначения и «мощности», электронные карты, компьютерные модели и интеллектуальные системы дистанционного зондирования, динамического картографирования состояния среды. Решаются задачи оптимизации инженерно-технической защиты.

Алгоритмическая структура, логичность мониторинговой системы определяет точность оценок геосреды. Например, используя метод эволюционного стохастического моделирования, можно упростить процедуры обработки данных, повысить оперативность принятия решения. Рассмотрение моделей таких задач — актуальная проблема.

## Библиографический список

1. Трофимов С.Я., Аммосова Я.М., Орлов Д.С. Влияние нефти на почвенный покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнений на почвы // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2000. № 2. С. 30—34.
2. Куликов О.В. Техногенные загрязнения нефтепродуктами почв и водных объектов // Бурение и нефть. 2002. № 12. С. 24—27.
3. Дерябин А.Н., Унгурияну Т.Н., Бузинов Р.В. Риск здоровью населения, связанный с экспозицией химических веществ почвы // Анализ риска здоровью. 2019. № 3. С. 18—25.
4. Germanova S.E., Ryzhova T.A., Kocheva M.V., Fedorova T.A., Petukhov N.V. Situational modelling of oil pollution risks monitored by distributed monitoring // Amazonia Investiga. 2020. Vol. 9. No. 25. Pp. 44—48.
5. Васильев А.В., Быков Д.Е., Пименов А.А. Экологический мониторинг загрязнения почвы нефте-содержащими отходами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 4. С. 269—272.
6. Калицев Д.М. Модель загрязнения зоны ответственности производственной инфраструктуры нефтегазового предприятия // Современные научные исследования и разработки. 2018. Т. 2. № 11. С. 290—292.
7. Глухова Л.В., Казиев В.М., Казиева Б.В. Системные правила финансового контроля и управления инновационными бизнес-процессами предприятия // Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. 2018. Т. 2. № 1. С. 118—126.
8. Тимофеев Ю.М., Березин И.А., Виролайнен Я.А., Макарова М.В., Никитенко А.А. Анализ мезомасштабных вариаций содержания углекислого газа вблизи Москвы по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 4. С. 263—270.
9. Chen Sh.H., Yu T. Big Data in Computational Social Sciences and Humanities: An Introduction // Big Data in Computational Social Science and Humanities. Computational Social Sciences. Springer, Cham., 2018. Pp. 1—25. doi: 10.1007/978-3-319-95465-3\_1

10. Михеева Т.И. Data Mining в геоинформационных технологиях // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2006. № 41. С. 96—99.
11. Абрамов Н.С., Макаров Д.А., Талалаев А.А., Фраленко В.П. Современные методы интеллектуальной обработки данных ДЗЗ // Программные системы: теория и приложения. 2018. Т. 9. № 4(39). С. 417—442.
12. Федотов Д.В., Белов М.Л., Матросова О.А., Городничев В.А., Козинцев В.И. Метод обнаружения нефтяных загрязнений на водной поверхности, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в двух узких спектральных диапазонах // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Приборостроение. 2010. № 2. С. 39—47.
13. Белов М.Л., Штейнгарт А.Д., Матросова О.А., Городничев В.А. Лазерный флуоресцентный метод мониторинга утечек из нефтепроводов, использующий нейросетевой алгоритм // Наука и образование. 2014. № 1. С. 55—69.
14. Федотов Ю.В., Матросова О.А., Белов М.Л., Городничев В.А. Метод обнаружения нефтяных загрязнений на земной поверхности, основанный на регистрации флуоресцентного излучения в трех узких спектральных диапазонах // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 3. С. 208—212.
15. Крапивин В.Ф., Мкртчян Ф.А. Эффективность мониторинговых систем обнаружения // Экологические системы и приборы. 2002. № 6. С. 3—5.

## References

1. Trofimov SY, Ammosova YM, Orlov DS. Influence of oil on soil cover and the problem of developing a regulatory framework for the influence of oil pollution on soils. *Moscow University Soil Science Bulletin*. 2000; (2):30—34. (In Russ).
2. Kulikov OV. Technogenic oil pollution of soil and water. *Burenie i neft'*. 2002; (12):24—27. (In Russ).
3. Deryabin AN, Unguryanu TN, Buzinov RV. Population health risk caused by exposure to chemicals in soils. *Health Risk Analysis*. 2019; (3):18—25. (In Russ). doi: 10.21668/health.risk/2019.3.02
4. Germanova SE, Ryzhova TA, Kocheva MV, Fedorova TA, Petukhov NV. Situational modelling of oil pollution risks monitored by distributed monitoring. *Amazonia Investiga*. 2020;9(25):44—48. (In Russ).
5. Vasiliev AV, Bykov DE, Pimenov AA. Ecological monitoring of pollution of the soils by oily waste. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015. 17(4):269—272. (In Russ).
6. Kalitsev DM. The pollution model of the «responsibility» zone of the production infrastructure of an oil and gas industry. *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki*. 2018; 2(11):290—292. (In Russ).
7. Gluhova LV, Kaziev VM, Kazieva BV. System rules of financial control and management of innovative business processes of the enterprise. *Vestnik Volzhskogo universiteta im. V.N. Tatishcheva*. 2018; 2(1):125—133. (In Russ).
8. Timofeev YM, Berezin IA, Virolainen JA., Makarova MV, Nikitenko AA. Analysis of mesoscale variability of carbon dioxide in the vicinity of Moscow megacity based on satellite data. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*. 2019; 16(4):263—272. (In Russ). doi: 10.21046/2070-7401-2019-16-4-263-270
9. Chen SH, Yu T. Big data in computational social sciences and humanities: an introduction. In: Chen SH. (ed.) *Big Data in Computational Social Science and Humanities*. Cham: Springer; 2018. p.1—25. doi: 10.1007/978-3-319-95465-3\_1
10. Miheeva TI. Data Mining in geo-information technologies. *Vestnik of Samara State Technical University. Technical Sciences Series*. 2006; (41):96—99. (In Russ).
11. Abramov NS, Makarov DA, Talalaev AA, Fralenko VP. Modern methods for intelligent processing of Earth remote sensing data. *Program Systems: Theory and Applications*. 2018; 9(4):417—442. (In Russ). doi: 10.25209/2079-3316-2018-9-4-417-442
12. Fedotov DV, Belov ML, Matrosova OA, Gorodnichev VA, Kozintsev VI. Method of detecting oil contamination on water surface based on registration of fluorescent radiation in two narrow spectral ranges. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering*. 2010; (2):39—47. (In Russ).
13. Belov ML, Shteingart AD, Matrosova OA, Gorodnichev VA. Laser fluorescent method for monitoring leaks from petrol pipes based on the neural network algorithm. *Science and Education*. 2014; (1):5—69. (In Russ). doi: 10.7463/0114.0676410
14. Fedotov YV, Matrosova OA, Belov ML, Gorodnichev VA. Method of detection of oil pollution on the Earth's surface based on fluorescence radiation recording within three narrow spectral bands. *Atmospheric and oceanic optics*. 2013; 26(3):208—212. (In Russ).

15. Krapivin VF, Mkrtchyan FA. Effectiveness of monitoring systems of detection. *Ecological systems and devices*. 2002; (6):3—5. (In Russ).

**Об авторах:**

*Светлана Евгеньевна Германова* — старший преподаватель департамента техносферной безопасности Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: germanova-se@rudn.ru  
ORCID: 0000-0003-2601-6740

*Магдеева Татьяна Валерьевна* — старший преподаватель департамента техносферной безопасности Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: dremova-tv@rudn.ru  
ORCID: 0000-0002-5584-5321

*Плющиков Вадим Геннадьевич* — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор департамента техносферной безопасности Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6; e-mail: pliushchikov-vg@rudn.ru  
ORCID: 0000-0003-2057-4602

**About authors:**

*Germanova Svetlana Evgenievna* — Senior Lecturer, Department of Technospheric Security, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: germanova-se@rudn.ru  
ORCID: 0000-0003-2601-6740

*Magdeeva Tatiana Valeryevna* — Senior Lecturer, Department of Technospheric Security, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya st., Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: dremova-tv@rudn.ru  
ORCID: 0000-0002-5584-5321

*Pliushchikov Vadim Gennadievich* — Doctor of Agricultural sciences, Professor, Director of Department of Technospheric Security, Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, 6, Miklukho-Maklaya Street, Moscow, 117198, Russian Federation; e-mail: pliushchikov-vg@rudn.ru  
ORCID: 0000-0003-2057-4602