



Научная статья

УДК 631.95+51.7

doi: 10.55186/25876740\_2023\_66\_5\_536

## ПРОБЛЕМА ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НЕФТЕПРОДУКТАМИ И ОПТИМАЛЬНОЕ ПРИНЯТИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

С.Е. Германова, В.Г. Плющиков, Н.Б. Самброс, Н.В. Петухов

Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

**Аннотация.** В данной статье исследуется актуальная проблема загрязнения сельскохозяйственных земель продуктами нефтедобычи и нефтепереработки в контексте оптимизации экологических решений нефтедобычи и переработки нефти. Целью работы является системный анализ и систематизация аспектов проблемы с точки зрения развития нефтяного бережливого производства. Также разработана и исследована модель оптимального управления загрязнением почвы вблизи места нефтедобычи или нефтепереработки. Используются гипотезы, допускающие наличие «белого» шума, различных степеней рисков, допустимость загрязнения в условиях, не противоречащих ГОСТР 57447-2017 и отраслевым нормативам, системному принципу самоочищения экологической среды. Основные применяемые в работе методы — системный анализ и синтез, моделирование и прогнозирование, учет синергетических связей, методы принятия решений и др. Проведены эксперименты по исследованию загрязненности мазутом почвы с выращиваемой на ней пшеницей (после процесса самоочищения). Исследованы критерии, задачи и решения бережливого нефтяного производства, сформулированы принципы бережливого экологического нефтяного производства. К ним относим принципы системности, открытости, фундаментальности, непрерывности, вариативности, сотрудничества, самоорганизации, холизма, энтропии, ассоциативности и др. Предложена математическая модель оптимального управления загрязнением почвы вблизи места добычи (переработки) нефти. Также предложена процедура идентификации параметров модели, знание которых поможет прогнозировать состояние экосистемы, траектории и бифуркации загрязнения почвы. Процедура (алгоритм) базируется на производственной функции типа Вельфенса-Джесински и методе наименьших квадратов. Результаты статьи используются для принятия решений по оценке загрязнения земель. По этим результатам можно вести ситуационное практическое моделирование с различными исходными сценариями.

**Ключевые слова:** нефть, экологические проблемы, моделирование, оптимальное решение, производство

**Благодарности:** публикация выполнена при поддержке Программы стратегического академического лидерства РУДН.

Original article

## THE PROBLEM OF AGRICULTURAL LAND POLLUTION WITH PETROLEUM PRODUCTS AND OPTIMAL ENVIRONMENTAL DECISION-MAKING

S.E. Germanova, V.G. Pliushchikov, N.B. Sambros, N.V. Petukhov

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

**Abstract.** This article examines the current problem of pollution of agricultural land with oil production and refining products in the context of optimizing environmental solutions for oil production and refining. The purpose of the work is a systematic analysis and systematization of aspects of the problem from the point of view of the development of oil lean production. A model of optimal soil pollution management near the oil production or refining site has also been developed and investigated. Hypotheses allowing the presence of “white” noise, different degrees of risks, admissibility of pollution in conditions that do not contradict GOSTR 57447-2017 and industry standards and the system principle of environmental environment self-cleaning were used. The main methods used in the work are system analysis and synthesis, modeling and forecasting, taking into account synergies, decision-making methods, etc. Experiments were carried out to study soil pollution with fuel oil when growing wheat. The criteria, goals and solutions were investigated and the principles of lean production in the oil industry were formulated. These include the principles of consistency, openness, fundamentality, continuity, variability, cooperation, self-organization, holism, entropy, associativity, etc. A mathematical model of optimal control of soil pollution near the place of oil production (processing) is proposed. The procedure for identifying model parameters is also proposed, the knowledge of which will help predict the state of the ecosystem, trajectory and bifurcation of soil pollution. The procedure (algorithm) is based on the Welfens-Jesinsky production function and the least squares method. The results of the article are used to make decisions on assessing land pollution. Based on these results, you can conduct situational practical modeling with different initial scenarios.

**Keywords:** oil, environmental problems, modeling, optimal solution, production

**Acknowledgments:** the publication was carried out with the support of the Strategic Academic Leadership Program of the RUDN.

**Введение.** Основная причина снижения площади и качества сельскохозяйственных угодий — их деградация. Особенно, если она является структурной деградацией, вызванной нефтяным загрязнением, концентрацией продуктов нефтяного производства, хозяйствования. Разработка и переработка нефти оказывает отрицательное влияние на экосреду.

Технологическую проблему загрязнения земель нельзя рассматривать в отрыве от проблемы

организационной — проблемы оптимального принятия производственно-потребительских и логистических решений. Она несколько остаётся в тени «модной» проблемы — перехода на возобновляемые энергоресурсы, декарбонизации и бережливого производства, хотя является системной проблемой.

Проблема загрязнения сельскохозяйственных почв нефтепродуктами актуальна и требует не только классических подходов (например,

мониторинга, биоиндикации, фиторемедиации и др.), но и разработки, использования прогнозных и ситуационных моделей, особенно, цифровых, например, использующих цифровые профили среды. В данной статье рассматривается именно такой подход, такая модель и процедура идентификации.

**Теоретический обзор.** Проблемой загрязнения земель, прилегающих к районам разработки, транспортировки и переработки



нефтепродуктов занимаются давно, например, в работах [1-2]. Высокая концентрация нефтяных загрязнителей в почве (например, от 5%) оказывает верифицируемое влияние на всхожесть, фотосинтетическую активность, биомассу и другие факторы роста сельскохозяйственных культур (например, [3]), а также на рост сорных растений (например, [4]) и, главное, на состояние самой почвы, возможности ее рекультивации (например, [5-6]).

Но пока по оценкам экспертов по энергоресурсам нефть будет до 2050 года «в тренде» и поэтому борьба с нефтяным загрязнением актуальна. Особенно, не только в таких нефтяных странах как России, Саудовская Аравия, Норвегия, Венесуэла, США и др., но и в потребляющих странах (Китай, Япония, Нидерланды, Корея, Германия и др.).

Развитие нефтяной отрасли является важным фактором экономической безопасности России и ему подчинено развитие нефтегазового комплекса [7]. В 2022 году нефтяная отрасль обеспечила в бюджет 25% всех сборов и 30% валютных поступлений и гарантировала экономическую безопасность России [8, 9].

Экологические риски — разнообразны и многообразны, это и риски загрязнения почвы и воды, риски рекреационные и геологические, риски роста себестоимости разработки и др. Поэтому и модели, имитационные сценарии являются также различными. Предлагаются, например, аутсорсинговые модели [10] поддержки стратегии низкоуглеродного развития [11].

**Использованные гипотезы и методы.**

Основные гипотезы нашего исследования:

- 1) возможен динамический хаос, вносимый случайными факторами в рамках «белого» (гауссова) шума, например, из-за химической деградации почвы;
- 2) добыча, транспортировка и переработка нефти на предприятии имеют различные экологические степени риска, влияющие на прилегающие к таким районам земли;
- 3) крупный бизнес и государство оказывают поддержку принятию решений в нефтяной отрасли, оптимальному природопользованию и его планированию;
- 4) при оценке загрязненности земель нефтепродуктами и нефтью допустимыми считаются значения по ГОСТР 57447-2017 («Рекультивация земель и земельных участков, загрязненных нефтью и нефтепродуктами»), например, содержание нефтепродуктов на глубине 0-20 см земли должно быть не более 193-260 мг/кг;
- 5) кадастровая стоимость загрязняемого участка земли, расчет затрат на охрану природы и рекультивацию берутся согласно отраслевым нормативам [12].

Основные методы рассмотрения проблемы загрязнения земель нефтепродуктами и принятия решений — анализ и синтез, моделирование и прогнозирование, классификация и таксономия, оценка ситуаций и принятие решений и др.

Для каждого региона следует иметь систему и методику комплексной экологической оценки состояния земель. Например, основанной на пробах почвы относительно ПДК загрязнителей [13]. Исходя из полученных в процессе оценивания результатов, устанавливается ущерб земледелию, антропогенное воздействие на землю, планируются необходимые рекультивационные мероприятия и меры по ликвидации нанесенного ущерба.

**Результаты.**

**Экспериментальные результаты.** Нефтепродукты в земле могут вызывать, например, эрозию, пучение, опустынивание, мешая восстановлению почвы. Наиболее опасны хлористая соль, сероводород, нефтяные мелкие фракции, органические хлориды, смолы и парафиновые соединения и др. Например, принимая во внимание и результаты работы [14] можно составить нижеследующую таблицу 1.

Содержание нефтепродуктов (фоновое, в среднем) в почве зависит от типа почвы и от региона, например, по Приморью — 40 мг/кг.

В таблице 2 приведено содержание мазута на близком к поверхности слое почвы (до 5 см) спустя сутки после загрязнения для различных лабораторных экспериментов.

Более длительный, годовой эксперимент показывает, что для рассматриваемого типа почвы (среднесуглинистая) варианты низкой загрязненности мазутом после процесса самоочищения приводит к снижению загрязнителя ниже предельной границы. Варианты с высоким начальным загрязнением содержание мазута характеризуются:

- 1) концентрацией мазута, превышающей допустимую границу;
- 2) снижением высоты растений (пшеницы) на 18% от эталонного варианта (без загрязнения);
- 3) снижением числа колосьев на 11% от эталонного (натурного или лабораторного) варианта;
- 4) снижением фитомассы на 30% от эталонного варианта.

В конце вегетации кислотность почвы (вытяжки) практически не изменилась, но снизилась влажность почвы (до 24%).

Мазут, продукты его трансформации оказывают весьма токсичное воздействие на рожь многолетнюю, наличие же в почве углеводородов мазута до 3 г/кг не препятствует росту сельскохозяйственных растений.

**1. Экологическая устойчивость и гибкое бережливое нефтяное производство**

Проблема загрязнения и его прогнозирования особенно актуальна при переходе к бережливому добывающему и перерабатывающему производству. Эффективность такого производства обеспечивается и эффективностью экологической, цифрового принятия организационного решения в условиях риск-ситуаций. Такие решения отражают негативные процессы в почве, нефтеносном слое, карты безопасности, напряженностей, например, эрозии почвы, ослаблении земной коры. Здесь без эффективного моделирования процессов нельзя обойтись.

Экологическая устойчивость является стратегическим преимуществом экономического развития страны и результатом оптимального управления экосистемой.

Бережливое производство означает наличие эволюционного потенциала, гибкости производственных процессов. Это способность быстро реагировать как на технологические инновации, так и на потребительские предпочтения, требования нефтяного рынка. Особенно в условиях неопределенностей, экономической или иной нестабильности.

Бережливое производство в нефтяной отрасли связано и с повышением мотивации и уровня участия работников. Например, новые цифровые технологии могут позволить более

Таблица 1. Диапазон факторов загрязнения нефтью в РФ (%)

Table 1. Range of oil pollution factors in the Russian Federation (%)

N	Фактор	Максимум	Минимум
1	Легкие загрязнители	18.2	11.9
2	Парафин	1.9	0.5
3	Смола	27.0	19.5
4	Сера	2.05	1.55
5	Плотность (кг/м³)	907	896

Таблица 2. Содержание мазута в слое 0-5 см

Table 2. Fuel oil content in the 0-5 cm layer

N	Начальное содержание (л/м2)	Концентрация спустя сутки (г/кг)
1	1,00	3,26 +/- 0,11
2	2,50	4,52 +/- 0,12
3	5,00	17,43 +/- 0,83
4	7,00	23,59 +/- 0,58
5	7,50	24,09 +/- 0,91

активно участвовать в процессах управления и принятия экологического решения.

Хотя это ведет к малозатратному производству, бережливое производство может привести к проблемам, в частности, к росту рисков безопасности и экологических отходов, сокращению работников. Следует внимательно использовать цифровые технологии нефтяного производства, минимизировать воздействие на экосреду. Необходимо тщательное планирование, управление и принятие иерархических решений, уменьшающих негативное воздействие на окружающую среду.

Эволюция нефтяной отрасли неразрывно связана с развитием цифровой экономики (на рис.1 приведены доли ВВП по ряду стран к 2022 году).

Проделанный нами анализ целей и задач бережливого производства в различных сферах позволяет нам выделить следующие принципы бережливого экологического нефтяного производства:

- 1) системный, универсальный подход к критериям и задачам нефтяного производства;
- 2) открытость, возможность расширения без структурной перестройки при разумной достаточности ресурсов;
- 3) фундаментальность используемых решений, методов и моделей;
- 4) равная возможность всех предприятий;
- 5) мотивированность всех участников;
- 6) непрерывность производства;
- 7) вариативность используемых подходов;
- 8) сотрудничество на всех уровнях иерархии;
- 9) самоорганизация процессов;
- 10) холизм (единство) принятия решений;
- 11) снижение энтропии (хаоса) в системе;
- 12) использование ассоциативного формирования экологических и производственных связей и др.

В цифровой нефтяной экосистеме цифровая инфраструктура, цифровые технологии способствуют повышению потенциала экосистемы, моделированию траектории поведения системы и поиску точек бифуркации системы.

Рыночная конкурентоспособность нефтяного предприятия во многом определяется её организационной культурой и цифровой, экологической инфраструктурой.



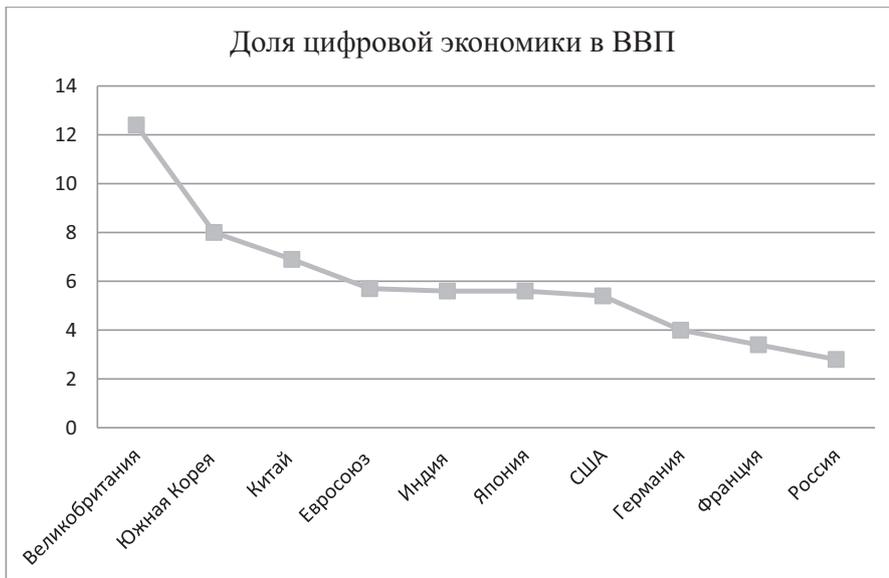


Рисунок 1. Рост доли цифровой экономики в объеме ВВП  
Figure 1. The growth of the share of the digital economy in the volume of GDP

**2. Моделирование оптимального управления загрязнением почвы вблизи места добычи или переработки нефти**

Задачи формализации и моделирования проблем, приведенных выше, рассмотрены рядом авторов, например, [15].

Для формализации задачи рассмотрим ниже следующие проблемно-ориентированные гипотезы.

1. Система добычи, переработки и транспортировки нефти является системой динамической, детерминированной, с тремя уровнями иерархии: добычи нефти, ее переработки и управления процессами, в том числе, загрязнения.
2. Подсистема 1 (добычи) воздействует на подсистему 2 (переработки), но обратные связи игнорируются, но они, естественно, возможны.
3. Подсистема 2 воздействует на подсистему 3 (управления), но прямые воздействия подсистемы 1 на подсистему 3 игнорируются.
4. Основные качественные характеристики загрязняющих земли нефтепродуктов определяются в интегральном смысле, всеми воздействующими загрязнителями.
5. Стандарты (ПДК) заранее определены и их необходимо соблюдать; при нарушении, превышении концентрации загрязнителей в почве, их влиянии на сельскохозяйственное производство, возникают штрафные санкции на нефтяное производство.
6. Подсистема 4 непосредственно через только лишь подсистему 2 не может регулировать процессы в подсистеме 1, например, объемы

добычи и затраты на глубину пласта, а главное, для нашей модели, не сможет управлять загрязнением.

Пусть для наглядности, подсистема 3 регулирует загрязнение территории от одного предприятия типа 2. Управляющая подсистема 3 регулирует загрязнение, контролирует соблюдение экономических нормативов, взыскивает за экологический ущерб, а главное, оптимизирует взаимодействия всех подсистем (рис.2).

В качестве целевой функции оптимизации взаимодействия предложим следующую функцию:

$$J = \int_0^T (-c((1-p(t))w(t), (1-s(t))v(t)) + f(g(t))(1-p(t))w(t) + q(l(t)(1-s(t))v(t))) dt,$$

где  $t$  — момент времени ( $0 \leq t \leq T < \infty$ ),  $g(t)$  — функция размера оплаты за единицу нефтяного загрязнения от нефтедобывающего предприятия,  $l(t)$  — функция оплаты за единицу загрязнения нефтеперерабатывающим предприятием,  $w(t)$  и  $v(t)$  — количество загрязняющих веществ при нефтедобыче и нефтепереработке, соответственно,  $p(t)$  — доля нефтяных загрязнителей, удаляемых естественным путем (самоочисткой),  $s(t)$  — доля нефтяных загрязнителей, удаляемых в результате очистки самим предприятием,  $c(a,b)$  — функция затрат подсистемы 3 на снижение рисков и улучшение качества почвы.

Тогда можно рассмотреть следующую классическую оптимизационную задачу [16]:

$$J \rightarrow \max, \{g, l, a\}$$

где  $a$  — затраты управления (подсистемы 3) на улучшение качества земли и снижение экологических рисков.

В качестве оптимизационной задачи рассмотрим следующую задачу: максимизировать функционал:

$$J = \int_0^T (eY(\varphi) - c_1(p)w - c_2(p)v - f(g)v - f(l)(1-s)v) dt,$$

где  $c_1, c_2$  — функции затрат предприятия на очистку единицы нефтепродуктов,  $\varphi$  — производственные фонды,  $Y(\varphi)$  — производственная функция предприятия,  $e(t)$  — прибыль предприятия при реализации единицы продукции в момент времени  $t$ .



Рисунок 2. Схема иерархии подсистем в системе «добыча — переработка» нефти  
Figure 2. Diagram of the hierarchy of subsystems in the oil production — processing system

В качестве производственной функции рассмотрим модель типа Вельфенса-Джесински [17] в виде:

$$Y(\varphi) = e^{at} (K(t) + H(t) + I(t))^\beta L^\beta(t).$$

Здесь  $I$  — иностранные инвестиции,  $L$  — численность занятых на производстве,  $K$  — внутренние основные фонды,  $H$  — иностранные основные фонды,  $a, \beta$  — идентифицируемые параметры.

Если логарифмировать последнее выражение, можно записать следующее соотношение:

$$\ln Y = at + \beta(\ln L + \ln(K + H + I))$$

Функционал метода наименьших квадратов дает нам критерий для поиска идентифицируемых параметров:

$$\sum_{t=1}^n (\ln Y(t) - \ln(y))^2 \rightarrow \min,$$

где  $y(t)$  — дискретная временная функция экспериментальных значений по рассматриваемой производственной функции (величинам производственных фондов).

Если воспользоваться условиями экстремума

$$\begin{cases} \frac{\partial Y}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial Y}{\partial \beta} = 0 \end{cases}$$

то получим систему алгебраических уравнений метода наименьших квадратов, решая которую мы сможем вычислить (идентифицировать) необходимые параметры  $a, \beta$ .

Эти параметры позволят проигрывать (прогнозировать) различные экологические ситуации по загрязнению среды. Такие ситуационные сценарии позволяют выработать оптимальные (хотя бы рациональные) производственные и экологические решения.

Модель гибкая, адаптируемая для ситуационного моделирования, ведь она отражает достаточно полный и идентифицируемый набор производственных параметров.

**Обсуждения и выводы.** В России добывается примерно 12% нефти в мире, но северные и морские регионы добычи сопряжены с рисками загрязнения, самовосстановления почвенного покрова. Это многофакторная проблема, исследование которой не только сложное, но и сопровождаемое неопределенностями. Несоблюдение экологических нормативов для нефтяных компаний ведет к штрафам, издержкам и экологическому ущербу среде. Нефтяные компании могут иметь различные исходные состояния, поэтому следует рассматривать различные (как риск-ориентированные, так и «нормальные») ситуационные сценарии.

Особое внимание в производстве стали уделять бережливому и цифровому производству. В работе этот вопрос также акцентирован, но его следует исследовать глубже и специально, следует его рассматривать с вопросом параллельного обучения персонала и улучшения связей с государственными структурами. Отметим и необходимость итерационного (иерархического) улучшения мероприятий бережливого нефтяного производства.

**Заключение.** Описанные в статье результаты работы позволяют решать важные практические задачи прогнозного характера, в частности, планирования добычи и переработки, защиты сельскохозяйственных земель, снижения рисков штрафования, улучшения репутационных мероприятий.



Наш анализ может стать базой при прогнозировании экономико-экологических и производственно-технологических процессов в нефтяной отрасли. Экологические риски следует прогнозировать (моделировать), оценивать и снижать.

Важно отметить, что предложенные процедуры и модели не являющиеся «жесткими», достаточно сложными для реализации на практике. Можно разработать соответствующую программную систему для компьютерного моделирования, причем с настройкой «на лету», в режиме реальной обработки данных.

Наше исследование можно гибко адаптировать к различным методикам и технологиям решения практических задач.

**Список источников**

1. Зейферт Д.В., Гамерова Л.М. Характер зависимости между концентрацией нефти в почве и ее токсичностью // Экологический вестник России. 2012. № 12. С. 16-19.
2. Ульянова О.В., Нечкина М.А., Мохонько Ю.М. и др. Экологические проблемы загрязнения нефтью почв сельскохозяйственного назначения // Современные проблемы науки и образования. 2007. № 12-1. С. 192-193.
3. Alia N., Khanafera M., Al-Awadhia H., et al. (2020). Self-cleaning of very heavily oil-polluted sites proceeds even under heavy-metal stress while involved bacteria exhibit bizarre pleomorphism // Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol. 200. P. 1-10. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110717
4. Киреева Н.А., Мифтахова А.М., Кузьяхметов Г.Г. Рост и развитие сорных растений в условиях техногенного загрязнения почвы // Вестник Башкирского университета. 2001. № 1. С. 32-34.
5. Жарикова Е.А. Содержание нефтепродуктов в естественных и антропогенных почвах Приморского края // Вестник Воронежского государственного университета (Серия «География. Геоэкология»). 2022. № 1. С. 83-92. DOI: 10.17308/geo.2022.1/9089
6. Троц Н.М., Горшкова О.В. Особенности сельскохозяйственной рекультивации при химической деградации черноземов в степной зоне Заволжской провинции // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 4. С. 10-16.
7. Жуков И.Ф., Коровин Э.В. Современное состояние российского нефтегазового комплекса // Экономический вектор. 2020. № 1(20). С. 51-57. DOI: 10.36807/2411-7269-2020-1-20-51-57
8. Назарова Ю.А., Лышко А.А., Горюнов И.О. Современное состояние и перспективы развития нефтегазовой отрасли в контексте обеспечения экономической безопасности // Вестник РГУ («Экономика. Управление. Право»). 2022. № 3. С. 75-87. DOI: 10.28995/2073-6304-2022-3-75-87.
9. Трушина Н.Н. Оценка состояния и динамики экономической безопасности нефтегазового комплекса // Вестник Воронеж. госуниверситета (Сер. «Экономика и управление»). 2019. № 4. С. 62-67.
10. Котляров И.Д. Аутсорсинговая модель организации российской нефтегазовой отрасли: проблемы и пути

решения // Вопросы экономики. 2015. № 9. С. 45-64. DOI: 10.32609/0042-8736-2015-9-45-64

11. Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю. Стратегия низкоуглеродного развития: перспективы для экономики России // Мировая экономика и международные отношения. 2020. Т. 64. № 9. С. 15-25. DOI: 10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25

12. ОкOLELOVA A.A., KAPLYA B.N., LAPCHENKOV A.G. Оценка содержания нефтепродуктов в почве // Региональные геосистемы. 2019. Т. 43. № 1. С. 76-86.

13. Подковырова М.А., Огнева Ю.Е. Анализ назначения методики комплексной оценки экологического состояния земельных ресурсов северных территорий // Московский экономический журнал. 2023. № 2. С. 84-99. DOI: 10.55186/2413046X\_2023\_8\_2\_84

14. Пиковский Ю.И., Исмаилов Н.М., Дорохова М.Ф. Основы нефтегазовой геоэкологии: учебник / Под ред. А.Н. Геннадиева, М.: 2019. 400 с.

15. Германова С.Е., Плющиков В.Г., Самброс Н.Б. и др. Проблема загрязнения сельскохозяйственных земель нефтепродуктами и ее моделирование // Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. Т. 65. № 1(385). С. 12-15. DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_1\_12

16. Казиев В.М. Некоторые оптимизационные задачи управления экосистемами // Доклады АМАН. 1994. Т. 1, № 1. С. 19-22.

17. Bengoa M., Sanchez-Robles B. (2003) Foreign direct investment, economic freedom and growth: New evidence from Latin America // European J. of Political Economy. Vol. 19. No. 3. P. 529-545

**References**

1. Seifert D.V., Gamera L.M. (2012). *Harakter zavisimosti mezhdu koncentraciej nefiti v pochve i ee toksichnost'yu* [Nature of the relationship between the concentration of oil in the soil and its toxicity]. Ecological Bulletin of Russia, no. 12, pp.16-19.
2. Ulyanova O.U., Nchkina M.A., Mokhonko Yu.M., et al. (2007). *Ekologicheskie problemy zagryazneniya nefi'yu pochv sel'skhozajstvennogo naznacheniya* [Environmental problems of oil pollution of agricultural soils]. Modern problems of science and education, no. 12-1, pp.192-193.
3. Alia N., Khanafera M., Al-Awadhia H., et al. (2020). Self-cleaning of very heavily oil-polluted sites proceeds even under heavy-metal stress while involved bacteria exhibit bizarre pleomorphism. Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 200, pp.1-10. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2020.110717
4. Kireeva N.A., Miftakhova A.M., Kuzyakhmetov G.G. (2001). *Rost i razvitie sornykh rastenij v usloviyah tekhnogennogo zagryazneniya pochvy* [Growth and development of weeds under conditions of technogenic soil pollution]. Bulletin of Bashkir University, no. 1, pp. 32-34.
5. Zharkova E.A. (2022). *Soderzhanie nefteproduktov v estestvennykh i antropogennykh pochvah Primorskogo kraja* [Content of petroleum products in natural and anthropogenic soils of Primorsky Krai]. Bulletin of Voronezh State University (Series Geography. Geoecology), no. 1, pp. 83-92. DOI: 10.17308/geo.2022.1/9089
6. Trots N.M., Gorshkova O.V. (2021). *Osobennosti sel'skhozajstvennoj rekul'tivacii pri himicheskoy degradacii chernozemov v stepnoj zone Zavolzhskoj provincii* [Features

of agricultural reclamation during chemical degradation of chernozems in the steppe zone of the Zavolzhsky province]. Izvestia of the Samara State Agricultural Academy, no. 4, pp. 10-16.

7. Zhukov I.F., Korovin E.V. (2020). *Sovremennoe sostoyanie rossijskogo neftegazovogo kompleksa* [Current state of the Russian oil and gas complex]. Economic vector, no. 1(20), pp. 51-57. DOI: 10.36807/2411-7269-2020-1-20-51-57

8. Nazarova Yu.A., Lyshko A.A., Goryunov I.O. (2022). *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya neftegazovoj otрасli v kontekste obespecheniya ekonomicheskoy bezopasnosti* [The current state and prospects for the development of the oil and gas industry in the context of ensuring economic security]. Bulletin of the Russian State Humanitarian University (Economics. Management. Right), no. 3, pp. 75-87. DOI: 10.28995/2073-6304-2022-3-75-87.

9. Trushina N.N. (2019). *Ocenka sostoyaniya i dinamiki ehkonomicheskoy bezopasnosti neftegazovogo kompleksa* [Assessment of the state and dynamics of economic security of the oil and gas complex]. Vestnik Voronezh University. (Economics and Governance), no. 4, pp. 62-67.

10. Kotlyarov I.D. (2015). *Autorsingovaya model' organizacii rossijskij neftegazovoj otрасli: problemy i puti resheniya* [Outsourcing model of Russian oil and gas industry organization: problems and solutions]. Economic issues, no. 9, pp. 45-64. DOI: 10.32609/0042-8736-2015-9-45-64

11. Porfiriev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu. (2020). *Strategiya nizkouglernogo razvitiya: perspektivy dlya ekonomiki Rossii* [Low-carbon development strategy: prospects for the Russian economy]. World economy and international relations, vol. 64, no. 9, pp.15-25. DOI: 10.20542/0131-2227-2020-64-9-15-25

12. Okolelova A.A., Kaplya V.N., Lapchenkov A.G. (2019). *Ocenka sodержaniya nefteproduktov v pochve* [Assessment of the content of petroleum products in the soil]. Regional geosystems, vol. 43, no. 1, pp. 76-86.

13. Podkovyrova M.A., Ogneva Yu.E. (2023). *Analiz naznacheniya metodiki kompleksnoj ocenki ekologicheskogo sostoyaniya zemel'nykh resursov severnykh territorij* [Analysis of the purpose of the methodology for a comprehensive assessment of the ecological state of the land resources of the northern territories]. Moscow Economic Journal, no. 2. pp. 84-99. DOI: 10.55186/2413046X\_2023\_8\_2\_84

14. PikoVskiy Yu.I., Ismailov N.M., Dorokhova M.F. (2019). *Osnovy neftegazovoj geoeologii: uchebnik* [Fundamentals of oil and gas geoecology: textbook], ed. A.N. Gennadieva, Moscow, 400 p.

15. Germanova S.E., Plyushchikov V.G., Sambros N.B., et al. (2022). *Problema zagryazneniya sel'skhozajstvennykh zemel' nefteproduktami i ee modelirovanie* [The problem of pollution of agricultural land with petroleum products and its modeling]. International Agricultural Journal, vol. 65, no. 1(385), pp. 12-15. DOI: 10.55186/25876740\_2022\_65\_1\_12

16. Kaziev V.M. (1994). *Nekotorye optimizaciyonnye zadachi upravleniya ekosistemami* [Some optimization tasks of ecosystem management]. AMAN Report, vol. 1, no. 1, pp.19-22.

17. Bengoa M., Sanchez-Robles B. (2003). Foreign direct investment, economic freedom and growth: New evidence from Latin America. European J. of Political Economy, vol. 19, no. 3, pp. 529-545

**Об авторах:**

**Германова Светлана Евгеньевна**, старший преподаватель департамента Техносферной безопасности Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2601-6740>, [germanova-se@rudn.ru](mailto:germanova-se@rudn.ru)  
**Плющиков Вадим Геннадьевич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор департамента Техносферной безопасности Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2057-4602>, [plushchikov-vg@rudn.ru](mailto:plushchikov-vg@rudn.ru)  
**Самброс Наталия Борисовна**, старший преподаватель департамента Техносферной безопасности Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6704-6834>, [sambros-nb@rudn.ru](mailto:sambros-nb@rudn.ru)  
**Петухов Николай Владимирович**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент департамента Техносферной безопасности Аграрно-технологического института Российского университета дружбы народов, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1521-2797>, [petukhov-nv@rudn.ru](mailto:petukhov-nv@rudn.ru)

**Information about the authors:**

**Svetlana E. Germanova**, senior lecturer of department of Technosphere Security of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2601-6740>, [germanova-se@rudn.ru](mailto:germanova-se@rudn.ru)  
**Vadim G. Plyushchikov**, doctor of agricultural science, professor, director of the department of Technosphere Security of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2057-4602>, [plushchikov-vg@rudn.ru](mailto:plushchikov-vg@rudn.ru)  
**Nataliya B. Sambros**, senior lecturer of department of Technosphere Security of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6704-6834>, [sambros-nb@rudn.ru](mailto:sambros-nb@rudn.ru)  
**Nikolay V. Petukhov**, candidate of agriculture science, associate professor of the department of Technosphere Security of the Agrarian and Technological Institute, Peoples' Friendship University of Russia, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1521-2797>, [petukhov-nv@rudn.ru](mailto:petukhov-nv@rudn.ru)

