

*Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 2 (142). С. 138-151.
ISSN 1998-8443 (print)*

*Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2023. Issue 2 (142). P. 138-151.
ISSN 1998-8443 (print)*

Научная статья

УДК 735.29

doi: 10.17122/ntj-oil-2023-2-138-151

EDN: DIKSWS

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ТЕРРИТОРИИ ЛИНЗОВОЙ (ОСТРОВНОЙ) МЕРЗЛОТЫ

Сергей Викторович Захаров¹, Валерий Петрович Лушпей²,

Алина Витальевна Ибрагимова³, Лю Фэнвэй⁴, Ма Бовэнь⁵

^{1, 3, 4, 5}Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск,
Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

¹ynd@istu.edu

²lvp-2012@mail.ru

³lanawhite@inbox.ru

⁴fenvej@yandex.ru

⁵Maboven@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Сергей Викторович Захаров, ynd@istu.edu

Аннотация. В статье рассматриваются процессы загрязнения грунтов углеводородами нефти в условиях линзовых и вечных мерзлот. При этом авторы используют методы математического моделирования, методы экспериментальных наблюдений, сопоставительный анализ. Обозначены риски утечек и разливов углеводородов нефти как чрезвычайно важный вопрос, требующий изучения с помощью различных методов. Приводятся краткие обзоры результатов исследований загрязнений грунтов углеводородами нефти. Представлен краткий анализ динамики загрязнений грунтов углеводородами нефти.

Выдвинута гипотеза о том, что при нарушении стабильности в линзовой мерзлоте динамика распространения загрязняющих веществ значительно отличается от динамики их распространения в обычных условиях. Приведены фотографии, рисунки, схемы распространения загрязняющих веществ в пределах линзовых и вечномёрзлых образований. Представлены результаты первичного моделирования растекания углеводородов нефти в пределах вечномёрзлых линзовых образований.

Процесс моделирования загрязнения грунтов нефтепродуктами в условиях линзовых мерзлот был разделён на два этапа: первичное моделирование загрязнения самой вечномёрзлой линзы и модель вторичного процесса, когда загрязняющие вещества в процессе диффузии минуют линзовую мерзлоту и попадают в не мерзлый грунт. Модель предполагает расчёт площадей - ореолов загрязнения, а также вычисление в них поверхностной концентрации загрязняющих веществ.

Сделан вывод о том, что состав нефтешламов, образованных при участии загрязнителей, определяется многими факторами - климатическими, физико-химическими, характеристикой и составом грунта. Сделан вывод о том, что в зависимости от климатических условий и состояния островных (линзовых) мерзлот процесс загрязнения может значительно отличаться в динамике.

Ключевые слова: углеводороды нефти, загрязнение грунтов, нефтяное загрязнение, утечка углеводородов, аварийный сброс, линзовые мерзлоты, вечная мерзлота, моделирование, динамика загрязнения, нефтепродукты

Для цитирования: Захаров С. В., Лушпей В. П., Ибрагимова А. В., Лю Фэнвэй, Ма Бовэнь. Моделирование и особенности загрязнений нефтепродуктами территории линзовой (островной) мерзлоты // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 2 (142). С. 138-151. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-2-138-151>.

Original article

MODELING AND FEATURES OF OIL POLLUTION IN THE LENS (ISLAND) PERMAFROST

Sergei V. Zakharov¹, Valery P. Lushpey², Alina V. Ibragimova³, Liu Fengwei⁴, Ma Bowen⁵

^{1, 3, 4, 5}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

¹ynd@istu.edu

²lvp-2012@mail.ru

³lanawhite@inbox.ru

⁴fenvej@yandex.ru

⁵Maboven@yandex.ru

Corresponding author: **Sergei V. Zakharov**, ynd@istu.edu

Abstract. The article discusses the processes of soil pollution by oil hydrocarbons in conditions of lens and permafrost. The authors use the methods of mathematical modeling, methods of experimental observations, comparative analysis. The risks of leaks and spills of oil hydrocarbons are indicated as an extremely important issue requiring study using various methods. Brief reviews of the results of studies of soil pollution by oil hydrocarbons are given. A brief analysis of the dynamics of soil pollution by oil hydrocarbons is presented. A hypothesis has been put forward that, when stability is disturbed in lens permafrost, the dynamics of pollutant distribution differs significantly from the dynamics of their distribution under normal conditions. Photographs, drawings, schemes of the distribution of pollutants within the lens and permafrost formations are given. The results of the initial modeling of the spreading of oil hydrocarbons within permafrost lens formations are presented.

The process of modeling soil pollution with oil products in conditions of lens permafrost is divided into two stages: the primary modeling of pollution of the permafrost lens itself and the model of the secondary process, when pollutants bypass lens permafrost in the process of diffusion and enter non-frozen soil. The model involves the calculation of areas - pollution halos, as well as the calculation of the surface concentration of pollutants in them. It is concluded that the composition of oil sludge formed with the participation of pollutants is determined by many factors - climatic, physical and chemical, characteristics and composition of the soil. It is concluded that, due to climatic conditions and the state of island (lens) permafrost, the pollution process can differ significantly in dynamics.

Keywords: oil hydrocarbons, soil pollution, oil pollution, hydrocarbon leakage, emergency discharge, lens permafrost, permafrost, modeling, pollution dynamics, oil products

For citation: Zakharov S. V., Lushpey V. P., Ibragimova A. V., Liu Fengwei, Ma Bowen. Modelirovanie i osobennosti zagryaznenii nefteproduktami territorii linzovoi (ostrovnoi) merzloty [Concept about Abiogenic Theory of Oil Genesis]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2023, Issue 2 (142), pp. 138-151. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-2-138-151>.

Введение

Загрязнение окружающей среды углеводородами нефти является одной из самых серьезных проблем настоящего времени. На протяжении всего периода использования человечеством углеводородов отмечаются

как глобальные загрязнения углеводородами нефти геологической природной среды, так и локальные загрязнения грунтов в районах добычи, хранения, эксплуатации, различных заводов, заправочных пунктов и других объектов. Как правило, все операции с нефтепродуктами сопровождаются рисками утечек

и разливов, рисками аварийных ситуаций на всех стадиях работы с нефтью - от добычи и извлечения до переработки, транспортировки и конечного использования.

В результате загрязнения почв нефтью образуются так называемые «замазученные грунты». Загрязненную нефтепродуктами местность, согласно ГОСТ Р 57447-2017, необходимо относить к отходам в виде шламов нефти и нефтепродуктов. Если содержание нефтепродуктов превышает 15 %, то формируются отходы 3-го класса опасности, при меньшем содержании - отходы 4-го класса опасности. Механизмы формирования грунтовых нефтешламов весьма сложны с физико-химической точки зрения и зависят от различных причин.

Однако следует учесть, что при разных температурных характеристиках верхнего слоя грунта загрязняющие вещества в нём распространяются по-разному, соответственно и масштабы загрязнения могут отличаться в разы по сравнению с загрязнением обычной (не мёрзлой) почвы.

Практически на состав нефтешламов влияют многие факторы: химический состав нефти, характеристика грунтовых отложений, влияние различных погодных условий, длительность загрязнения во времени, участие различных биологических организмов в процессах миграции и трансформации нефтяных загрязнителей. Именно многообразие этих факторов и определяет сложность создания моделей миграции и трансформации нефти: на практике истинная картина распространения нефтяного загрязнения почв и грунтов может существенно отличаться от относительно несложных моделей диффузии [1].

Некоторые исследователи изучали различные аспекты загрязнения окружающей среды нефтепродуктами, так:

- А.М. Сафаровым был предложен алгоритм прогнозной оценки загрязнения нефтью поверхностных, подземных вод и почв для 9 наиболее типичных вариантов развития поставарийных ситуаций [2, 3];

- А.А. Павлов разработал комплексную модель распространения и трансформации

нефтяного загрязнения при попадании нефти в русло малого водотока [4, 5];

- Н.С. Чикиной проведён мониторинг разливов нефти и нефтепродуктов и способов их ликвидации для эффективной ремедиации окружающей природной среды, разработан способ получения, использования и утилизации сорбента, обладающего высокой сорбционной и удерживающей способностью, с целью ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, позволяющий производить сорбент как в стационарных заводских условиях, так и на месте аварий в режиме чрезвычайных ситуаций [6];

- О.Ю. Мещеряковой детально изучены факторы миграции и трансформации нефти в геологической среде [1];

- А.Ф. Туктамышев проводил исследования процессов локализации и сбора нефти и нефтепродуктов потерянных во время аварий и выбывших из оборота по технологическим причинам, провёл анализ физико-химических свойств таких нефтей и нефтепродуктов и исследовал возможности их дальнейшей переработки [7];

- Т.А. Одинцовой исследована эволюция нефтяного загрязнения в условиях гипергенеза, где автор показывает, что это приводит к трансформации углеводородной составляющей в комплекс устойчивых битуминозных гетероатомных соединений, в том числе высокого класса опасности (полиароматические оксихиноны, хлорпарафины, фталаты), что требует их учета при контроле допустимого остаточного содержания нефти в почвах после проведения рекультивационных работ [8];

- Д.С. Белозёровым разработана функциональная модель комплекса по обезвреживанию нефтесодержащих отходов, позволяющая прогнозировать и минимизировать их воздействие на окружающую среду [9];

- М.М. Султыговым получены результаты экспериментальной оценки влияния свойств почвенного покрова на состав и свойства нефтяного загрязнения, которые могут быть положены в основу классификации почвенных отложений по их отношению к нефтя-

ному загрязнению и выделению зон чрезвычайных ситуаций различного характера при аварийных разливах нефтепродуктов в почве [10].

Кроме того, представляется немаловажным, что и исследователи в области экономики и предпринимательства [11, 12] разрабатывают методы, модели и средства [13, 14] для оценки последствий загрязнений окружающей среды, а также сопутствующие методики для контроля экономических рисков, связанных, в том числе, с неконтролируемыми сбросами загрязняющих веществ [15], внедрение таких «превентивных» экономических методов может способствовать тому, что некоторые аварийные ситуации не произойдут вовсе.

Большой вклад в исследование моделирования динамики загрязнений грунтов нефтепродуктами внёс профессор В.А. Филонюк [16, 17], до недавнего времени трудившийся в Иркутском национальном исследовательском техническом университете. Некоторые из уникальных материалов, впрочем, он не успел опубликовать, уйдя из жизни. Большинство его материалов, связанных с моделированием загрязнений грунтов углеводородами нефти, носили учебный характер, и профессор старался их не публиковать. Однако мы не можем не упомянуть его труды, именно на них мы опираемся в построении некоторых наших моделей [18, 19].

Таким образом, при наличии большого количества исследований загрязнения окружающей среды углеводородами практически не существует исследований, посвящённых исследованию загрязнений грунтов в условиях вечных и линзовых мерзлот.

Цель исследования

Главной целью исследования является получить ответы на вопросы: как ведут себя нефтепродукты, будучи утраченными в результате аварии (аварийного разлива) в условиях линзовой мерзлоты, и что с ними происходит, если вечномёрзлая линза теряет свою

стабильность (начинает таять, увеличиваться или уменьшаться в размерах).

Материалы и методы исследования

Исследования базируются на результатах, полученных предыдущими авторами, упомянутыми в данной статье. Для изучения локализации углеводородов в мёрзлых средах авторы использовали экспериментальные методы, методы наблюдения. Эксперименты проводились в лабораторных и полевых условиях. Для изучения процесса растекания загрязняющих веществ в пределах островной мерзлоты использовалось математическое моделирование.

Предлагаемая нами модель некоторым образом напоминает модель растекания загрязняющих веществ, предложенную профессором В.А. Филонюком в его учебных материалах (не опубликовано в открытой печати) с поправкой на исключение водоносного горизонта и наличие участков вечной (островной) мерзлоты.

Результаты исследования и их обсуждение

Примерно 65 % территории Российской Федерации находится в зоне вечной мерзлоты [20]; при этом, на таких территориях, как Иркутская область, Республика Бурятия, Хабаровский край, Камчатский край, Красноярский край, Республика Тыва и др., наблюдаются практически повсеместно так называемые «линзовые мерзлоты» (рисунок 1).

На рисунке 1 участки линзовой мерзлоты присутствуют в зонах, которые обозначены как «Прерывистая» и «Островная» мерзлота.

Линзовая мерзлота характеризуется тем, что грунт в основном талый (имеет положительную температуру), но в нем имеются отдельные области («линзы») мерзлого грунта. Размеры линз в плане (в горизонтальном сечении) могут составлять десятки метров [1], а толщина - от нескольких до сотен метров (рисунок 2).



Рисунок 1. Участки вечной мерзлоты в России

Figure 1. Permafrost areas in Russia



Рисунок 2. Линзовая мерзлота

Figure 2. Lens permafrost

Известно, что поступившие в окружающую среду нефтепродукты под влиянием физико-химических процессов окисления и биодеструкции подвергаются разрушению [1]. В аэробных условиях разложение нефтепродуктов протекает под влиянием кислорода воздуха при участии аэробных микроорганизмов. Это первая стадия разложения. В дальнейшем по мере уменьшения кислорода в воде за счет расходования его на окислительные процессы формируются анаэробные условия, в которых разложение нефтепродуктов происходит при участии анаэробных бактерий. Кинетика этих процессов изучена недостаточно полно, однако можно утверждать, что в аэробных условиях разложение нефтепродуктов протекает быстрее, но сама длительность этой первой стадии деструкции ограничена во времени скоростью формирования анаэробных условий [1].

Однако в условиях вечной мерзлоты и линзовых мерзлот условия в корне отличны [20] от обычных условий, следовательно, и все процессы трансформации и растекания нефтепродуктов происходят иным образом, в отличие от исследованных процессов.

Процесс моделирования загрязнения грунтов нефтепродуктами в условиях линзовых мерзлот целесообразно разделить на два этапа: во-первых, осуществить первичное моделирование загрязнения самой вечно-мёрзлой линзы и, во-вторых, смоделировать

вторичный процесс, когда загрязняющие вещества в процессе диффузии минуют линзовую мерзлоту и попадут в не мерзлый грунт.

Для изучения распространения загрязняющих веществ в линзовой мерзлоте был проведен ряд экспериментов, в том числе и в лабораторных условиях.

Было изучено распространение загрязняющего вещества в оледенелом грунте, в преимущественно мёрзлой среде, в абсолютно мёрзлой среде, в не мёрзлом грунте при температурах близких к 0 °С (в данной статье мы не приводим полные результаты этих экспериментов).

Проводимые ранее другими авторами [1, 16, 17] и нами эксперименты показали, что большинство углеводородов нефти, имея плотность меньше, чем плотность воды, не вступают в видимую объёмную реакцию с мёрзлой средой, растекаясь, как правило, на её поверхности (рисунок 3).

Однако загрязняющие агенты свободно перемещаются по поверхности водных сред, образуя гигроскопичную плотную плёнку, мигрируя вместе с этой средой в направлении течения во время оттаивания. Затем, после осушения, загрязняющие вещества остаются на поверхности грунта, диффузируя на его поверхности. Таким образом, распространение углеводородов нефти в условиях линзовых мерзлот связано с их периодическими таяниями.



Рисунок 3. Растекание нефти по поверхности мёрзлой среды (вид сбоку)

Figure 3. Oil spreading over the surface of a frozen environment (side view)

Построим модель распространения углеводородов нефти, сброшенных в аварийном режиме в пределах вечномёрзлой линзы.

В нашей модели предполагается, что в пределах вечномёрзлой линзы произошёл аварийный сброс загрязняющих веществ - углеводородов, с плотностью меньшей, чем плотность воды. Требуется определить предполагаемую конфигурацию и размеры ореолов загрязнения при условии частичного таяния вечномёрзлой линзы за время t_1 , t_2 и t_3 после аварийного сброса, а также степень поверхностной концентрации загрязняющих веществ в предполагаемых ореолах загрязнения.

При решении делаем допущение, что площадь вечномёрзлой линзы много больше

площади очага загрязнения. Решение задачи данной модели сопровождается изображением схемы положения ореолов загрязнения в плане [18, 19] (рисунок 4) и построением графика зависимости поверхностной концентрации углеводородов от времени (рисунок 5). В данной модели следует уточнить понятие «поверхностно-активная концентрация» - это избыток числа молей углеводородов вещества в некотором объеме раствора вблизи его поверхности.

Во-первых, определяются размеры предполагаемых вторичных ореолов загрязнения в различные моменты времени (t_1 , t_2 и t_3). Для этого необходимо графически отобразить удаление фронта загрязнения от «точки стока» (рисунок 5).

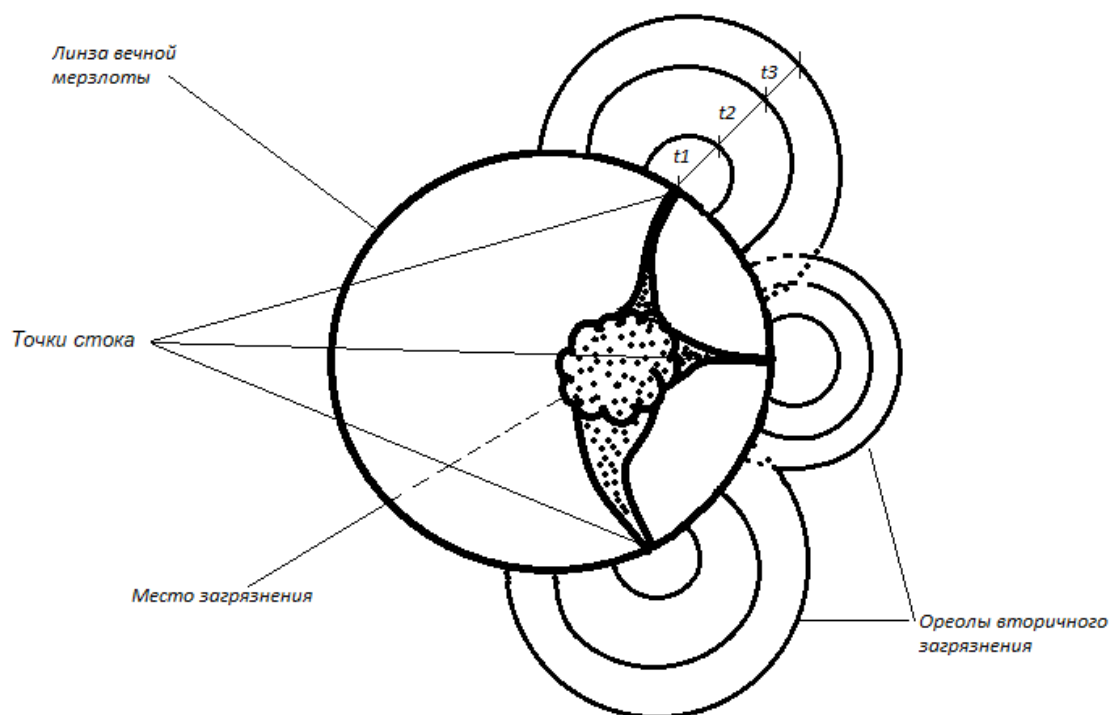


Рисунок 4. Стеkanie загрязняющего вещества с таящей линзы вечной мерзлоты

Figure 4. Pollutant runoff from a melting permafrost lens

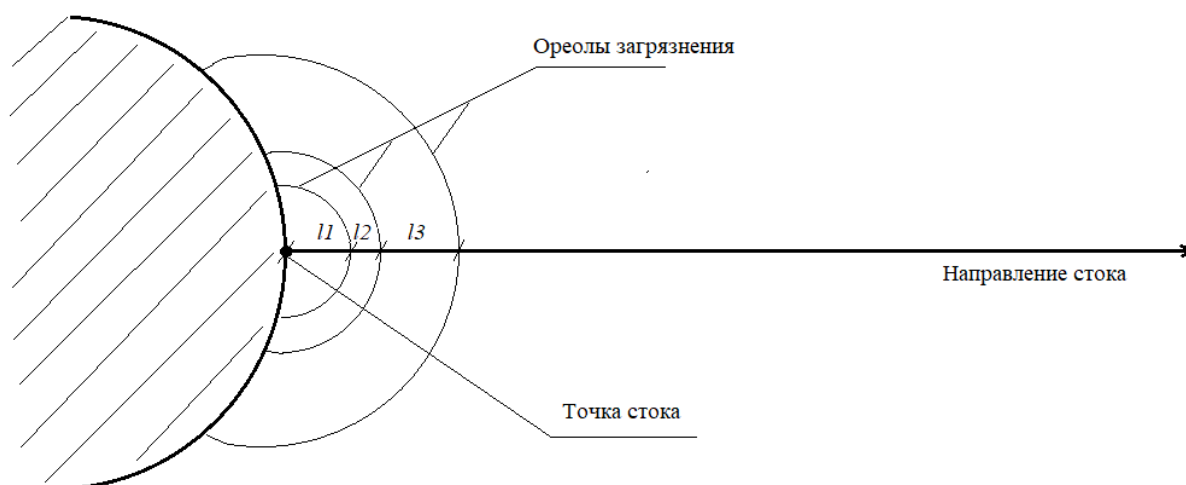


Рисунок 5. Вторичное распространение загрязняющих веществ при частичном таянии линзы

Figure 5. Secondary contaminant spreading during partial lens melting

Положение границы ореола вторичного растекания загрязняющих веществ в направлении стока за время t_1 определяется по формуле:

$$l_1 \equiv (V - \varphi) \cdot t_1, \quad (1)$$

где φ - скорость впитывания загрязнённой жидкости, которая зависит от пористости грунта в месте растекания.

Для абсолютно непористого грунта φ принимается равной 0, для абсолютно пористого грунта $\varphi = V$, т.е. всё вещество мгновенно впитывается в пористый грунт (такие идеальные условия, когда $\varphi = 0$ или $\varphi = V$ в природе практически не существуют).

В поперечных стоку направлениях положение границ ореола загрязнения определяется точно также, поскольку в данной модели отсутствует какой-либо поток, несущий загрязняющие вещества в каком-либо определённом направлении. Поэтому радиусом, равным l_1 , оконтуриваем первый фронт за-

грязнения за время t_1 , и получаем первый ореол. Подставляя в эту же формулу значения t_2 и t_3 , получаем последующие ореолы загрязнения с радиусами l_2 и l_3 .

Далее строится план ореолов загрязнения и вычисляются примерно площади загрязнения как площади полукругов:

$$S_1 = \pi * l_1^2 / 2. \quad (2)$$

Соответственно площадь второго ореола будет:

$$S_2 = \pi * l_2^2 / 2. \quad (3)$$

Далее простым делением объёма загрязняющего вещества на площадь ореола загрязнения приближенно рассчитывается концентрация загрязняющего вещества в ореоле. По полученным результатам построим график зависимости поверхностной концентрации загрязняющего вещества от времени растекания (рисунок 6).

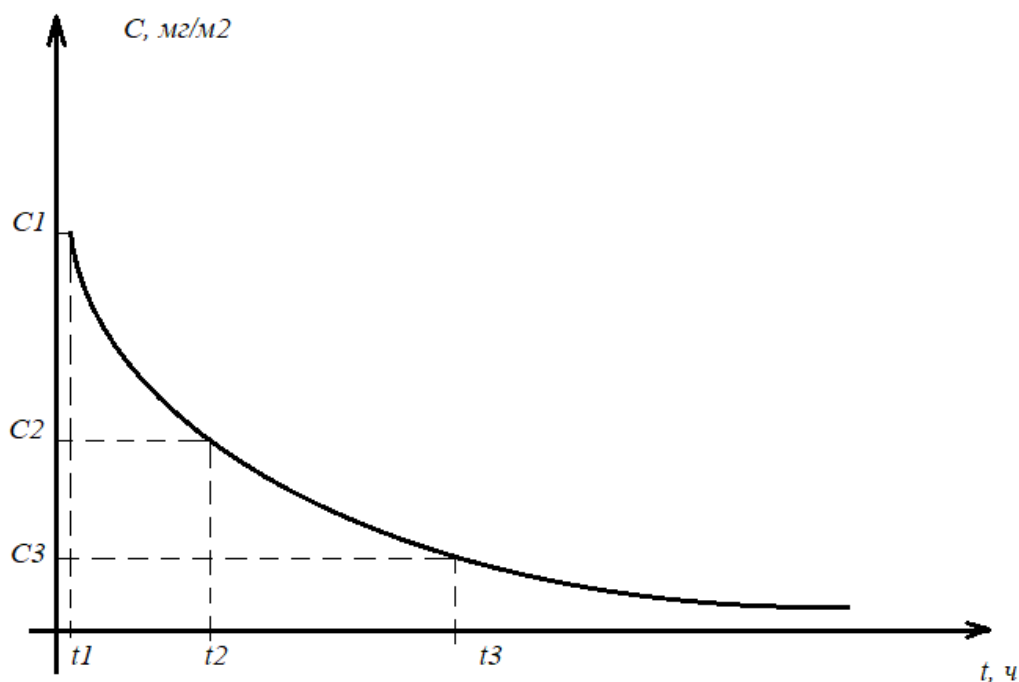


Рисунок 6. Примерный график зависимости поверхностной концентрации загрязняющего вещества от времени растекания

Figure 6. Approximate plot of surface contaminant concentration versus spread time

Выводы

Проблема загрязнения окружающей среды углеводородами нефти является одной из важнейших проблем современности. Изучая эту проблему, следует принимать во внимание внешнюю среду, которая в разных территориальных областях значительно различается по своим характеристикам. Все данные экспериментов, поставленных авторами статьи, а также более ранние исследования подтверждают гипотезу о том, что загрязняющие вещества - углеводороды нефти - в зависимости от температуры и состояния внешней среды (грунтов) имеют различную динамику растекания и дальнейшую миграцию. Наиболее сложным с математической точки зрения является процесс растекания загрязняющих веществ в комбинированной

среде, которая представлена, с одной стороны, вечномёрзлой, периодически частично оттаивающей островной (линзовой) мерзлотой, а с другой стороны, каким-либо видом прилегающего грунта, с различными характеристиками пористости и др.

Авторы, предлагая модель первичного загрязнения углеводородами нефти территории островной (линзовой) мерзлоты, понимают, что эта модель требует уточнений, детализации и поправок на различные характеристики внешней среды и состав загрязнителей. Комбинация этих параметров составляет содержание наших дальнейших исследований. В данной статье авторы не приводят всех поставленных экспериментов и детализированную уточнённую модель, поскольку этот материал достаточно объёмен.

Список источников

1. Мещерякова О.Ю. Факторы миграции и трансформации нефти в геологической среде // Проблемы геологии и освоения недр: тр. XIV международ. симпозиума им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. Т. 2. С. 368-370.
2. Гласко А.В. Прогнозирование температурного режима грунтов оснований зданий и сооружений в условиях линзовой мерзлоты // Инженерный журнал: наука и инновации. 2012. № 7. URL: <https://lib.rucont.ru/efd/275031> (дата обращения: 05.12.2022).
3. Филонюк В.А., Рапацкая Л.А. Универсальная закономерность фрактальной кластеризации скоплений углеводородов в нефтегазоносных провинциях // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2015. № 1 (11). С. 11.
4. Сосновская Е.Л., Сосновский Л.И., Филонюк В.А. Геоинформационное моделирование фундаментальных свойств геологической среды для создания систем управления её геомеханическим состоянием // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2008. № 2. С. 469.
5. Филонюк В.А., Сосновская Е.Л. Альтернативный подход к исследованиям геодинамики разномасштабных структурно-вещественных превращений в геологической среде // Известия Сибирского отделения РАН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2007. № 4 (30). С. 89-95.
6. Сосновский Л.И., Павлов А.М., Филонюк В.А., Сосновская Е.Л., Авдеев А.Н., Рубцов Л.Г. Управление геомеханическими процессами при разработке наклонных жил в условиях многолетней мерзлоты // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. № 11. С. 77-82.
7. Konyukhov V.Yu., Nechaev A.S., Kichkin A.A. Investment Toolkit Development for Estimation of Enterprises Innovative Activity Efficiency // Actual Problems of Economics. 2014. Vol. 162, No. 12. P. 236-251.
8. Nechaev A., Antipin D., Antipina O. Financial and Tax Instruments for Stimulation of Enterprises Innovative Activity // Problems and Perspectives in Management. 2014. Vol. 12, No. 2. P. 173-180.
9. Nechaev A., Antipina O., Matveeva M., Prokopenko A. Offshore Schemes as an Effective tax Planning Tool of Enterprises' Innovative Activities // Economic Annals-XXI. 2015. No. 7-8-2. P. 40-43.
10. Nechaev A.S., Antipin D.A. Mechanism for Assessing the Efficiency of Financing the Enterprise Innovative Activities // Actual Problems of Economics. 2014. Vol. 154, No. 4. P. 233-237.
11. Nechaev A.S., Antipina O.V., Rasputina A.V., Tyapkina M.F., Ilyina E.A. Methods of Lease Payments Calculating in Terms of Innovations Financing // Montenegrin Journal of Economics. 2021. Vol. 17, No. 1. P. 133-149. DOI: 10.14254/1800-

References

1. Meshcheryakova O.Yu. Faktory migratsii i transformatsii nefi v geologicheskoi srede [Factors of Oil Migration and Transformation in the Geological Environment]. *Trudy XIV mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh, posvyashchennogo 75-letiyu Pobedy v Velikoi Otechestvennoi voine «Problemy geologii i osvoeniya nedr»* [Proceedings of the XIV International Symposium Named after Academician M.A. Usov Students and Young Scientists, Dedicated to the 75th Anniversary of the Victory in the Great Patriotic War «Problems of Geology and Subsoil Development»]. Tomsk, TPU Publ., 2010, Vol. 2, pp. 368-370. [in Russian].
2. Glasko A.V. Prognozirovaniye temperaturnogo rezhima gruntov osnovanii zdaniy i sooruzheniy v usloviyakh linzovoi merzloty [Forecasting the Temperature Regime of Soils of the Foundations of Buildings and Structures in Conditions of Lens Permafrost]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii - Engineering Journal: Science and Innovation*, 2012, No. 7. Available at: <https://lib.rucont.ru/efd/275031> (accessed 05.12.2022). [in Russian].
3. Filonyuk V.A., Rapatskaya L.A. Universal'naya zakonomernost' fraktal'noi klasterizatsii skoplenii uglevodorodov v neftegazonosnykh provintsiyakh [Universal Law of Fractal Clustering of Hydrocarbon Accumulations in Oil-and-Gas Provinces]. *Georesursy, geoenergetika, geopolitika - Georesources, Geoenergetics, Geopolitics*, 2015, No. 1 (11), pp. 11. [in Russian].
4. Sosnovskaya E.L., Sosnovskii L.I., Filonyuk V.A. Geoinformatsionnoe modelirovaniye fundamental'nykh svoystv geologicheskoi sredy dlya sozdaniya sistem upravleniya ee geomekhanicheskim sostoyaniem [Geoinformation Modeling of the Fundamental Properties of the Geological Environment to Create Control Systems for its Geomechanical State]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta - Proceedings of Irkutsk State Technical University*, 2008, No. 2, pp. 469. [in Russian].
5. Filonyuk V.A., Sosnovskaya E.L. Alternativnyi podkhod k issledovaniyam geodinamiki raznomasshtabnykh strukturno-veshchestvennykh prevrashcheniy v geologicheskoi srede [An Alternative Approach to the Study of Geodynamics of Multi-Scale Structural and Material Transformations in the Geological Environment]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya RAEN. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii - Proceedings of the Siberian Department of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2007, No. 4 (30), pp. 89-95. [in Russian].
6. Sosnovskii L.I., Pavlov A.M., Filonyuk V.A., Sosnovskaya E.L., Avdeev A.N., Rubtsov L.G. Upravlenie geomekhanicheskimi protsessami pri razrabotke naklonnykh zhil v usloviyakh mnogoletnei merzloty [Control of Geomechanical Processes in the

5845/2021.17-1.10.

12. Сафаров А.М., Кудашева Ф.Х. Оценка развития поставочных ситуаций при порывах магистральных нефтепроводов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2007. № 2. С. 13. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/SafarovAM/SafarovAM_2.pdf (дата обращения: 05.12.2022).

13. Галинуров И.Р., Сафаров А.М., Хатмуллина Р.М., Минигазимов Н.Р., Зиганшина Д.Х. Исследование способности почв к самоочищению от нефтяного загрязнения // Безопасность жизнедеятельности. 2012. № 11 (143). С. 38-43.

14. Павлов А.А. Учет особенностей распространения нефтяного загрязнения при анализе экологического риска // Информационные технологии моделирования и управления. 2008. № 4 (47). С. 447-452.

15. Черняев А.В., Павлов А.А. Моделирование процессов осаждения нефтяных загрязнений на береговую поверхность малых рек // Информационные технологии. 2009. № 11. С. 37-40.

16. Иванова М.А., Чикина Н.С., Зенитова Л.А. Ликвидация нефтяных загрязнений // Бутлеровские сообщения. 2012. Т. 29, № 3. С. 1-12.

17. Туктамышев А.Ф., Болгова А.С., Магид А.Б., Мастобаев Б.Н. Методы и технические средства очистки нефтесодержащих сточных вод. СПб.: Недра, 2006. 192 с.

18. Одинцова Т.А., Бачурин Б.А. Научно-методические подходы к организации мониторинга нефтяных загрязнений // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. № 6. С. 176-182.

19. Белозёров Д.С. Оценка экологического риска аварий на трубопроводном транспорте // Транспорт Урала. 2007. № 2 (13). С. 107-112.

20. Галишев М.А., Султыгов М.М., Бельшина Ю.Н., Ловчиков В.А. Закономерности перераспределения нефтяного загрязнения в почвах различных типов и механических фракций // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2018. № 6. С. 13-17. DOI: 10.30713/2411-7013-2018-6-13-17.

Development of Inclined Veins in Permafrost Conditions]. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten' - Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2006, No. 11, pp. 77-82. [in Russian].

7. Konyukhov V.Yu., Nechaev A.S., Kichkin A.A. Investment Toolkit Development for Estimation of Enterprises Innovative Activity Efficiency. *Actual Problems of Economics*, 2014, Vol. 162, No. 12, pp. 236-251.

8. Nechaev A., Antipin D., Antipina O. Financial and Tax Instruments for Stimulation of Enterprises Innovative Activity. *Problems and Perspectives in Management*, 2014, Vol. 12, No. 2, pp. 173-180.

9. Nechaev A., Antipina O., Matveeva M., Prokopenko A. Offshore Schemes as an Effective tax Planning Tool of Enterprises' Innovative Activities. *Economic Annals-XXI*, 2015, No. 7-8-2, pp. 40-43.

10. Nechaev A.S., Antipin D.A. Mechanism for Assessing the Efficiency of Financing the Enterprise Innovative Activities. *Actual Problems of Economics*, 2014, Vol. 154, No. 4, pp. 233-237.

11. Nechaev A.S., Antipina O.V., Rasputina A.V., Tyapkina M.F., Ilyina E.A. Methods of Lease Payments Calculating in Terms of Innovations Financing. *Montenegrin Journal of Economics*, 2021, Vol. 17, No. 1, pp. 133-149. DOI: 10.14254/1800-5845/2021.17-1.10.

12. Safarov A.M., Kudashova F.Kh. Otsenka razvitiya postavariinykh situatsii pri poryvakh magistral'nykh nefteprovodov [Evaluation of the Development of Post-Accident Situations in Case of Breaks in Main Oil Pipelines]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal «Neftegazovoe delo» - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2007, No. 2, pp. 13. URL: http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/SafarovAM/SafarovAM_2.pdf (accessed 05.12.2022). [in Russian].

13. Galinurov I.R., Safarov A.M., Khatmullina R.M., Minigazimov N.R., Ziganshina D.Kh. Issledovanie sposobnosti pochv k samoochishcheniyu ot neftyanogo zagryazneniya [The Analysis of Autopurification Soil Ability from Oil Contaminant]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti - Bezopasnost' Zhiznedeyatel'nosti*, 2012, No. 11 (143), pp. 38-43. [in Russian].

14. Pavlov A.A. Uchet osobennostei rasprostraneniya neftyanogo zagryazneniya pri analize ekologicheskogo riska [Taking into Account the Features of the Spread of Oil Pollution in the Analysis of Environmental Risk]. *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniya i upravleniya - Information Technology Modeling and Management*, 2008, No. 4 (47), pp. 447-452. [in Russian].

15. Chernyaev A.V., Pavlov A.A. Modelirovanie protsessov osazhdeniya neftyanykh zagryaznenii na beregovuyu poverkhnost' mal'nykh rek [Modelling of Processes of Sedimentation of Oil Pollution on a Coastal Surface of the Small Rivers]. *Informatsionnye tekhnologii - Information Technologies*, 2009, No. 11, pp. 37-40. [in Russian].

16. Ivanova M.A., Chikina N.S., Zenitova L.A. Likvidatsiya neftyanykh zagryaznenii [Elimination of Oil Pollution]. *Butlerovskie soobshcheniya - Butlerov Communications*, 2012, Vol. 29, No. 3, pp. 1-12. [in Russian].

17. Tuktamyshev A.F., Bolgova A.S., Magid A.B., Mastobaev B.N. *Metody i tekhnicheskie sredstva ochistki neftesoderzhashchikh stochnykh vod* [Methods and Technical Means for Treating Oily Wastewater]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2006. 192 p. [in Russian].

18. Odintsova T.A., Bachurin B.A. Nauchno-metodicheskie podkhody k organizatsii monitoringa neftyanykh zagryaznenii [Scientific and Methodological Approaches to the Organization of Oil Pollution Monitoring]. *Gornyi informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) - Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*, 2011, No. 6, pp. 176-182. [in Russian].

19. Belozarov D.S. Otsenka ekologicheskogo riska avarii na truboprovodnom transporte [Estimation of Eco-Risk Breakdowns at the Pipeline Transport]. *Transport Urala - Transport of the Urals*, 2007, No. 2 (13), pp. 107-112. [in Russian].

20. Galishev M.A., Sulygov M.M., Bel'shina Yu.N., Lovchikov V.A. Zakonomernosti pereraspredeleniya neftyanogo zagryazneniya v pochvakh razlichnykh tipov i mekhanicheskikh fraktsii [Regularities of Oil Pollution Redistribution in Different Types and Mechanical Fractions of Soils]. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse - Environment Protection in Oil and Gas Complex*, 2018, No. 6, pp. 13-17. DOI: 10.30713/2411-7013-2018-6-13-17. [in Russian].

Информация об авторах

• Захаров Сергей Викторович, кандидат технических наук
Иркутский национальный исследовательский технический университет
Доцент кафедры экономики и цифровых бизнес-технологий
Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83
e-mail: ynd@istu.edu

• Лушпей Валерий Петрович, доктор технических наук
Дальневосточный федеральный университет
Профессор отделения нефтегазового и горного дела
Россия, 690922, Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10
e-mail: lvp-2012@mail.ru

Information about the authors

• Zakharov Sergey V., Candidate of Engineering Sciences
Irkutsk National Research Technical University
Assistant Professor of Economics and Digital Business Technologies Department
83, Lermontov str., Irkutsk, 664074, Russia
e-mail: ynd@istu.edu

• Lushpey Valery P., Doctor of Engineering Sciences
Far Eastern Federal University
Professor of Oil and Gas and Mining Department
10, village Ajax, island Russian, Vladivostok, 690922, Russia
e-mail: lvp-2012@mail.ru

• Ибрагимова Алина Витальевна
Иркутский национальный исследовательский
технический университет
Магистрант кафедры экономики и цифровых
бизнес-технологий
Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83
e-mail: lanawhite@inbox.ru

• Ibragimova Alina V.
Irkutsk National Research Technical University
Undergraduate Student of Economics
and Digital Business Technologies Department
83, Lermontov str., Irkutsk, 664074, Russia
e-mail: lanawhite@inbox.ru

• Лю Фэнвэй
Иркутский национальный исследовательский
технический университет
Аспирант кафедры экономики и цифровых
бизнес-технологий
Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83
e-mail: fenvej@yandex.ru

• Liu Fengwei
Irkutsk National Research Technical University
Postgraduate Student of Economics
and Digital Business Technologies Department
83, Lermontov str., Irkutsk, 664074, Russia
e-mail: fenvej@yandex.ru

• Ма Бовэнь
Иркутский национальный исследовательский
технический университет
Магистрант кафедры экономики и цифровых
бизнес-технологий
Россия, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83
e-mail: Maboven@yandex.ru

• Ma Bowen
Irkutsk National Research Technical University
Undergraduate Student of Economics and Digital
Business Technologies Department
83, Lermontov str., Irkutsk, 664074, Russia
e-mail: Maboven@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 19.10.2022; одобрена после рецензирования 14.11.2022; принята к публикации 01.03.2023.

The article was submitted 19.10.2022; approved after reviewing 14.11.2022; accepted for publication 01.03.2023.