

УДК 502.51

Владимир Алексеевич Березкин

САФУ им. М.В. Ломоносова,
163002, Архангельск, набережная Северной
Двины, 17
email: vl.br@yandex.ru

Vladimie. A. Berezkin

NArFU n.a. M.V. Lomonosov
17, Northern Dvina embankments t., Arkhangelsk,
163002

Марсель Галиуллович Губайдуллин

САФУ им. М.В. Ломоносова,
163002, Архангельск, набережная Северной
Двины, 17

Marsel G. Gubaydullin

NArFU n.a. M.V. Lomonosov
17, Northern Dvina embankments t., Arkhangelsk,
163002

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТИ В ПЕЧОРСКОМ МОРЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ
ЗОНЫ ПОРАЖЕНИЯ АКВАТОРИИ С УЧЕТОМ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЕТРА**

В данной работе выполнено моделирование возможного аварийного разлива нефти в Печорском море на Варандейском отгрузочном терминале. Симуляция проведена для скорости ветра 10 м/с, показано, что данный сценарий является наиболее неблагоприятным. Построена карта с указанием зоны загрязнения нефтью спустя 1, 2 и 5 суток с момента аварии. Приводятся данные о количестве нефти, выброшенной на берег при разных направлениях ветра. Проанализирована опасность ущерба особо охраняемым природным территориям.

Ключевые слова: моделирование, аварийный разлив нефти, Печорское море, программный продукт OSCAR.

**MODELING OF AN OIL SPILL IN PECHORA SEA FOR THE IMPACT AREA ESTIMATION
CONSIDERING VARIOUS WIND DIRECTIONS AND VELOCITIES**

In this work, the modeling of a hypothetical oil spill in the Pechora Sea at the Varandey offloading terminal is presented. The simulation is conducted for a wind speed of 10 m/s, it is shown that this scenario is the most unfavorable. A map showing the zone of oil pollution after 1, 2 and 5 days since the accident is created. The paper provides the amount of oil stranded at different directions of the wind. A possible damage to conservation areas is analyzed.

Key words: modeling, oil spill, Pechora Sea, OSCAR.

Введение

Природа Арктических регионов крайне уязвима и чувствительна к антропогенным воздействиям. В связи с освоением ресурсов углеводородов Арктической зоны растет угроза возникновения аварийных разливов нефти. Особенно опасны разливы на акваториях, поскольку способны быстро распространяться на большие расстояния, нанося урон морским и береговым экосистемам. Их ликвидация осложнена сложными природно-климатическими условиями и недоступностью региона для людей и техники. В связи с этим минимизация экономического и экологического ущерба от разливов нефти является одной из важнейших задач.

Для защиты природы Российской Арктики от последствий аварий требуется разработка мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов. Для этого необходимо знать траекторию дрейфа нефтяного пятна на поверхности, процессы выветривания нефти и другие данные. Методы

математического моделирования позволяют спрогнозировать развитие аварии и получить необходимую информацию. Одной из наиболее мощных и известных моделей распространения нефтяных разливов на водной поверхности является программа OSCAR, разработанная норвежской компанией SINTEFF. Она предоставляет пользователю много возможностей для эффективного моделирования разлива с учетом имеющихся исходных данных: объема и характера утечки, положения источника, состава нефти, течений, ветра, температуры и др.

Для моделирования разлива необходимо определить потенциальный источник утечки. Им может стать нефтеналивной танкер, подводный трубопровод, эксплуатационная или буровая морская платформа. К крупнейшим объектам нефтегазового комплекса, расположенным в западном секторе Российской Арктики, относится Варандейский нефтяной терминал. Он состоит из берегового резервуарного парка (БРП), осуществляющего приемку нефти, и стационарного ледостойкого отгрузочного причала (СМЛОП), расположенного в море в 22 км от берега. СМЛОП связан с береговым

парком двухниточным трубопроводом диаметром 820 мм.

Исходные данные сценария

В качестве возможного сценария разлива принята утечка нефти в объеме 530 т на СМЛОП при ее перекачке в танкер. Продолжительность истечения нефти в результате повреждения погрузочного шланга (гибкого трубопровода) принята равной 4 минутам.

Необходимо отметить, что программа OSCAR не обладает необходимым функционалом для учета ледовых условий. Проблема прогнозирования движения нефти на поверхности, покрытой льдом, остро стоит в области моделирования аварийных разливов. Ни одна модель не способна дать точный

результат, и этот вопрос является предметом дальнейших исследований. В связи с этим, в данной работе предполагается, что морская поверхность свободна ото льда в границах распространения разлива.

Ветер имеет наибольшее влияние на скорость и направление движения нефтяного пятна. Для оценки процессов выветривания и поведения нефти в зависимости от ветра было проведено экспериментальное моделирование разлива на открытой воде (без выброса нефти на берег) при разных скоростях ветра. Результаты проиллюстрированы на Рис. 1.

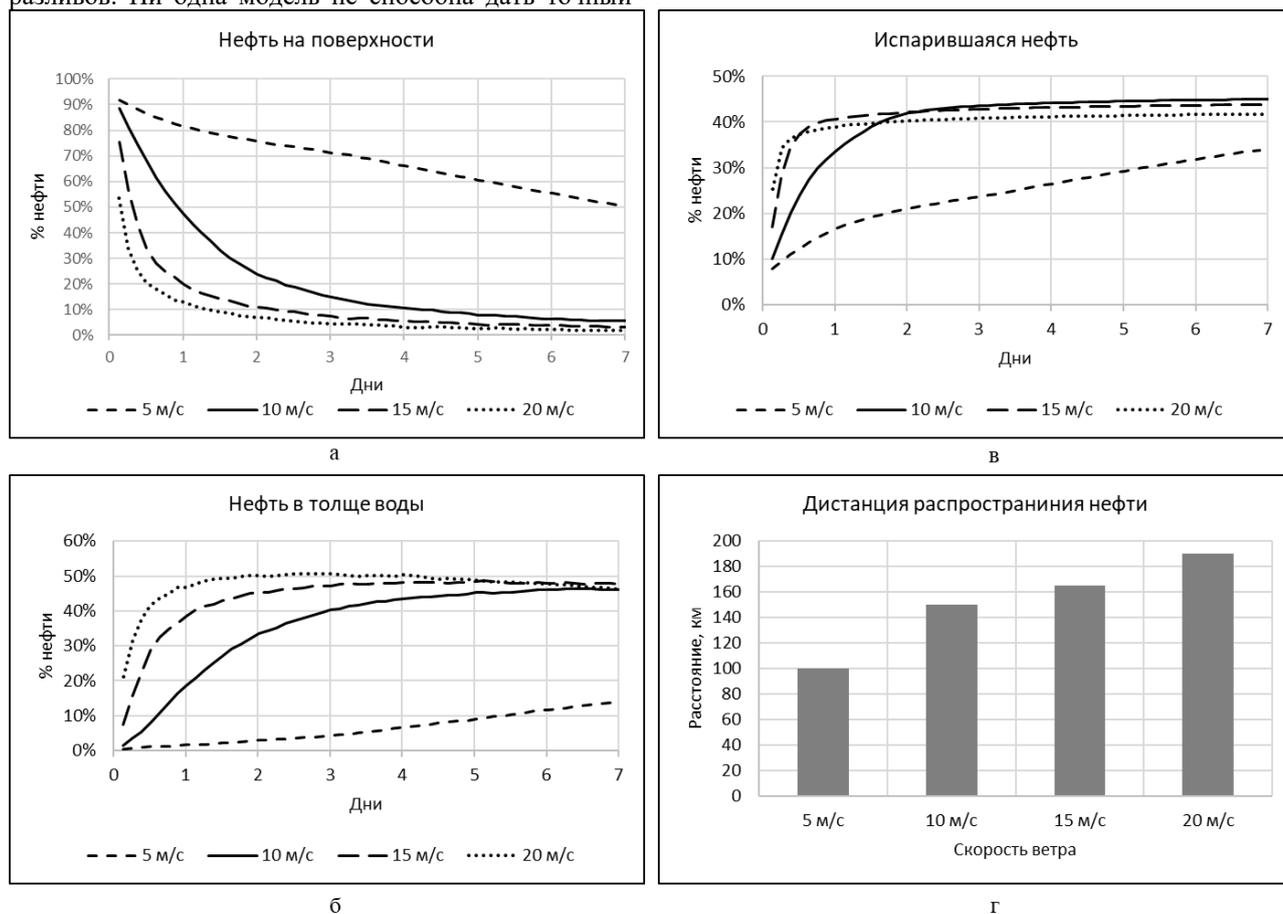


Рис. 1 - Параметры разлива при разных скоростях ветра: а - количество нефти на поверхности; б - количество нефти в толще воды; в - количество испарившейся нефти; г - расстояние распространения разлива за 7 суток в зависимости от скорости ветра

Для моделирования необходимо выбрать наиболее неблагоприятный сценарий, то есть ту скорость ветра, при которой возможный ущерб будет наибольшим. Из Рис. 1-а видно, что наибольшее количество нефти на поверхности наблюдается при скорости ветра 5 м/с. При скорости 10 м/с значение резко уменьшается и дальнейшее увеличение скорости не меняет существенно этот показатель. Это связано с тем, что скорость ветра напрямую влияет на интенсивность испарения нефти (Рис. 1-б) и дисперсии в толщу воды (Рис. 1-в). При высокой скорости ветра усиливается волнение на поверхности, что приводит к разбиванию пленки и перемешиванию поверхностных слоев. Значительные объемы нефти при этом проникают в

толщу воды. Затем частицы нефти покрываются взвешенными частицами, находящимися в толще воды, и погружаются на дно, образуя осадок [2].

На Рис. 1-г показано примерное расстояние, на которое распространяется пятно за 7 суток. Оно увеличивается с возрастанием скорости ветра. Однако, как было сказано выше, выветривание и дисперсия в толщу воды делают нефть менее опасной, поскольку ее количество на поверхности воды снижается, и она становится менее токсичной.

Исходя из указанного, наиболее неблагоприятным из рассмотренных сценариев была выбрана скорость ветра 10 м/с. При этом на поверхности остается значительное количество нефти, которая при

движении в сторону суши будет выброшена на берег. Расстояние распространения разлива в 150 км охватывает большую площадь, включая берег Югорского полуострова и остров Вайгач на востоке и северо-востоке, а также группу островов Гуляевские Кошки и акваторию Печорской губы на западе.

В данной работе построено 8 моделей для оценки, направление ветра в которых менялось по «рабочим» румбам от 1 до 8. Для упрощения моделирования и интерпретации результатов можно принять скорость ветра одинаковой на всей рассматриваемой территории и постоянной на протяжении расчетного периода [3].

В меньшей степени на движение нефтяного пятна влияют течения. В данной работе течения моделируются упрощенно. Скорость и направление течения, аналогично ветру, приняты одинаковыми на всей рассматриваемой территории и постоянными на протяжении расчетного периода. Течение задано в направлении с запада на восток со скоростью 5 см/с, что соответствует схеме постоянных течений для безледного периода [1].

Основные исходные данные сценария приведены в Таблице 1.

Таблица 1

Исходные данные сценария

Параметр	Значение
Количество нефти	530 т
Время истечения	4 мин
Температура воздуха	5 °С
Температура воды в поверхностном слое	3 °С
Соленость воды	35 ‰
Плотность нефти	0,863 г/см ³
Содержание парафинов в нефти	8,14%
Содержание асфальтенов в нефти	1,49%

Результаты

По результатам моделирования составлена карта (Рис. 2), на которой отмечены зоны загрязнения нефтью через 1 сутки, 3 суток и 5 суток. На карте указаны особо охраняемые природные территории (ООПТ), цифрами от 1 до 5 отмечены берега, подверженные загрязнению при разных направлениях ветра.

В таблице 2 приведены данные о количестве нефти, выброшенной на берег при разных направлениях ветра.

Наиболее негативным последствием аварийных разливов нефти является загрязнение берегов.

Территория вдоль береговой линии является местом обитания различных видов птиц. Нефть загрязняет перьевой покров, который играет значительную роль в организме птицы, обеспечивая теплоизоляцию и плавучесть. Загрязнение оперенья способно привести к переохлаждению, голоданию или утоплению особей. Токсичные вещества, входящие в состав нефти, попадают внутрь организма птицы, и могут вызвать смерть или снижение репродукции [9].

Наибольший ущерб береговой линии нанесен при северном и северо-западном ветре, то есть при направлении ветра к ближайшему берегу (Рис.2 – [1]).

Таблица 2

Количество нефти, выброшенной на берег при разных направлениях ветра

Направление ветра	Количество нефти, выброшенной на берег
Северное	260,76 т
Северо-восточное	186,56 т
Восточное	1,59 т
Юго-восточное	0 т
Южное	0 т
Юго-западное	99,11 т
Западное	10,07 т
Северо-западное	297,86 т

В этом случае около половины разлитой нефти попадет на берег в течение первых суток после разлива, при этом пятно достигнет берега в течение первых суток после аварии. Данная территория не относится к ООПТ, однако Союз охраны птиц России относит ее к Ключевой орнитологической территории

России (КОТР). Программа КОТР ведется в нашей стране с 1994 г., ее основные задачи:

- выявление КОТР;
- организация охраны КОТР;
- мониторинг КОТР, контроль над сохранностью птиц и их мест обитания;
- принятие мер в случае угрозы КОТР.

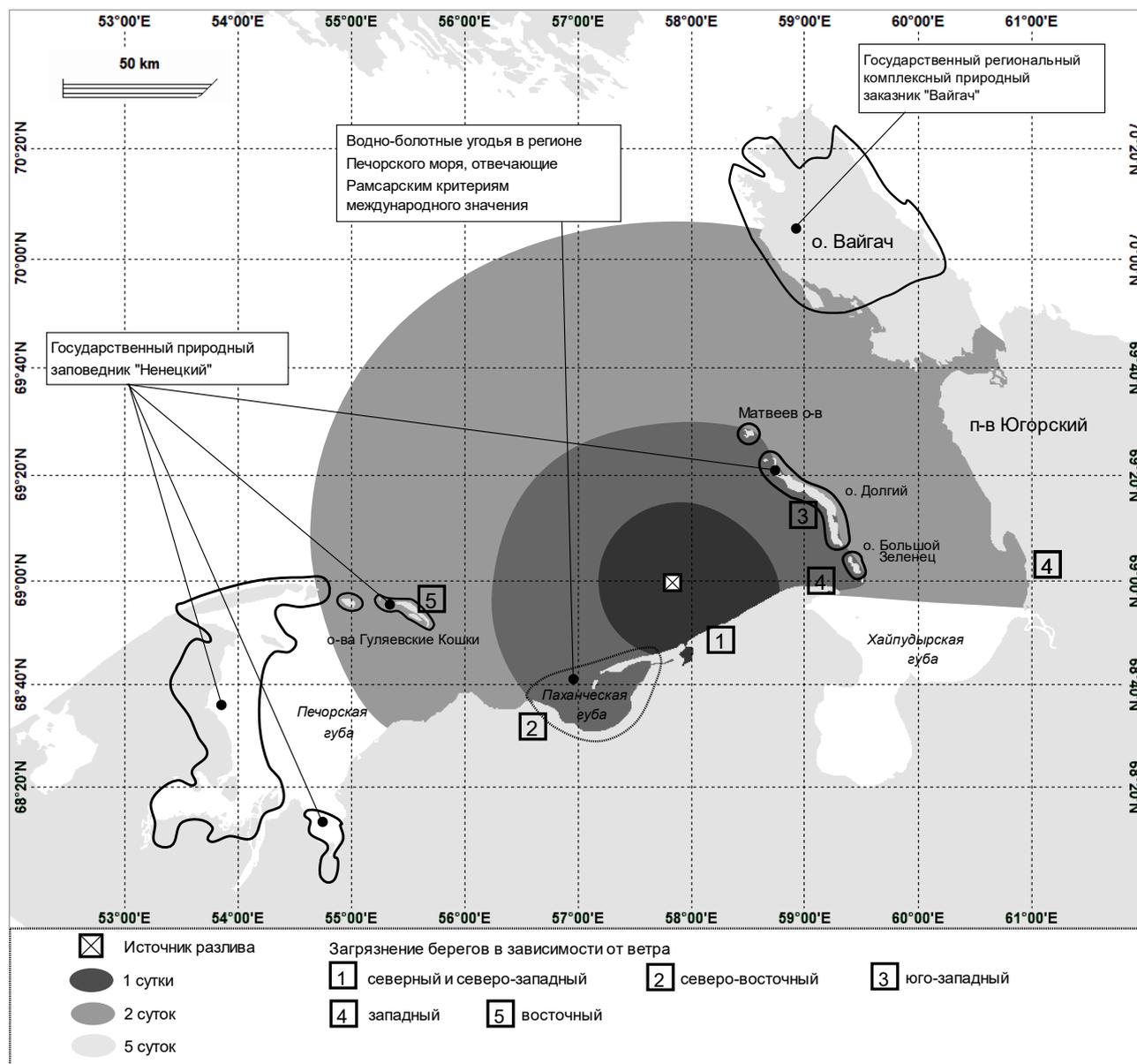


Рис. 2 - Результаты моделирования

Данные о КОТР применяются в подготовке предложений по организации ООПТ, проектировании ООПТ, созданию планов природоохранных мероприятий по редким видам птиц, а также при проведении общественных экологических экспертиз различных проектов [8]. Союз охраны птиц России относит это побережье (Рис.2 – [1]) к КОТР Варандейская Лапта. Исследованиями выявлено гнездование и линька множества видов птиц: морской чернети, морянки, гаги-гребенушки, связи и шилохвости. Территория служит руслом и местом массовых остановок и отдыха мигрирующих гусей, лебедей, черной казарки, различных видов куликов и чаек [7].

Северо-восточное направление ветра также представляет опасность. В этом случае значительными объемами нефти может быть загрязнено побережье Паханчешской губы (Рис. 2 – [2]) в течение 2 суток после разлива. Данная территория относится к Водно-болотным угодьям, внесённым в Перспективный список Рамсарской конвенции («Теневого списка» водно-болотных угодий, имеющих

международное значение) [4]. Конвенция о водно-болотных угодьях (1971 год) является межправительственным договором, цель которого — «сохранение и разумное использование всех водно-болотных угодий путём осуществления местных, региональных и национальных действий и международного сотрудничества, как вклад в достижение устойчивого развития во всем мире». Так называемый «Теневого списка» представляет собой перечень территорий, рекомендованных для внесения в список водно-болотных угодий, охраняемых Рамсарской конвенцией [6]. Территория является руслом пролёта водоплавающих птиц, местом остановки мигрирующих гусей (десятки тысяч) и чёрной казарки [4].

При восточном ветре ожидается загрязнение побережья островов группы Гуляевские Кошки (Рис. 2 – [5]). Объемы нефти при этом сценарии относительно небольшие, разлив достигнет берега в течение 5 суток. Данные территории включены в Государственный природный заповедник «Ненецкий». Континентальная часть заповедника

(западное побережье Печорской губы) не пострадает. К представителям птиц, населяющим заповедник, относят, например, гагу обыкновенную и гребенушку, черную казарку, синьгу, морянку, разнообразные виды куликов [5].

В случае западного ветра умеренному загрязнению в течение 2 суток подвержен полуостров Медынский Заворот и остров Большой Зеленец (относится к заповеднику «Ненецкий»). При дальнейшем движении нефтяного пятна в течении 5 суток разлив достигнет западного побережья полуострова Югорский (Рис. 2 – [4]), но значительное загрязнение не ожидается по причине малого количества нефти, которое достигнет берега.

При юго-западном направлении основной объем нефти будет выброшено на остров Долгий, относящийся к заповеднику «Ненецкий» (Рис. 2 – [3]). Из-за близости к источнику разлива и формы острова можно ожидать значительное загрязнение береговой линии. Пятно достигнет берега в течение 2 суток. При этом остров предотвратит продвижение пятна дальше на северо-восток к берегам полуострова Югорский и южной части острова Вайгач.

При южном направлении ветра, согласно результатам симуляции, поражение берегов не ожидается. Моделирование промежуточных направлений не проводилось, однако можно предположить, что в случае ветра между южным и юго-западными направлениями, в течении 2 суток разлив достигнет Матвеева острова, и далее в течении 5 суток – берегов острова Вайгач, в том числе территорий Государственного регионального комплексного природного заказника «Вайгач».

Заключение

Таким образом, было выполнено моделирование аварийного разлива на СМЛОП Варандейского терминала в объеме 530 т в программе OSCAR. Симуляция проводилась для скорости ветра 10 м/с, поскольку данный сценарий является наиболее неблагоприятным. По результатам моделирования была составлена карта, показывающая ориентировочные границы нефтяного загрязнения спустя 1, 2 и 5 суток. На карте также отмечены участки берегов, которые могут быть подвергнуты загрязнению при разных направлениях ветра, и граница ООПТ в регионе, что позволяет оценить опасность распространения загрязнения в том или ином направлении.

Результаты демонстрируют, что наиболее значительный ущерб от разлива ожидается при северном и северо-западном направлении ветра, когда нефтяное пятно менее чем за сутки достигнет береговой линии в районе БРП Варандейского терминала. При этом на берег будет выброшено более 250 т нефти. Данный сценарий является наиболее негативным, однако близость необходимой инфраструктуры Варандейского терминала позволит оперативно развернуть силы и средства для локализации и ликвидации аварийного разлива нефти (ЛАРН).

Представляет опасность также движение пятна в северо-восточном направлении (при юго-западном ветре). В этом случае около 100 т нефти может быть

выброшено на побережье острова Долгий. Пятно достигнет берега менее чем за 2 суток. Ликвидация последствий аварии на островных территориях представляет сложность по причине плохой транспортной доступности, сложности транспортировки на острова людей и техники.

Следует отметить, что значительного ущерба для ООПТ не ожидается. Однако загрязнению береговой зоны в любом случае представляет опасность, поскольку на данной территории она является местом обитания множества видов птиц, крайне уязвимых для загрязнения нефтью.

В случае реализации подобного сценария ключевым вопросом является скорость реагирования на аварию. Необходимо минимизировать время доставки и развертывания средств ЛАРН. На Варандейском терминале суда поддержки, ведущие дежурство в районе СМЛОП, оснащены необходимыми средствами ЛАРН и могут оперативно начать работы по ликвидации аварии. Координация действий аварийно-спасательных формирований и оперативный прогноз гидрометеорологических условий являются критически важными условиями для успешной борьбы с аварийным разливом и минимизации ущерба для природы региона.

В дальнейшем планируется продолжить выполнение моделирования для разных скоростей ветра с целью оценки экологических рисков в регионе с учетом повторяемости ветров, вероятности аварии, типов берегов и уязвимости отдельных видов фауны.

Библиографический список

1. *Гидрометеорология и гидрохимия морей*. Том 01. Баренцево море. Выпуск 1. Гидрометеорологические условия. Справочник. // — Л.: Гидрометеиздат, 1990. — 280 с.
2. *Губайдуллин М.Г.* Моделирование разливов нефти в западном секторе Российской Арктики: учебное пособие / под ред. д-ра геол.-минер. наук, проф. М.Г. Губайдуллина; Сев. (Арктич.) федер. ун-т. - Архангельск: САФУ, 2016. - 219 с.
3. *Коробов В. Б.* Эколого-географическое обоснование экспертной оценки создания нефтяной транспортной инфраструктуры севера Тимано-Печорской провинции: Дис. ... д-ра геогр. наук. – М., 2004 год, 423 с.
4. *Минеев Ю.Н., Мищенко А.Л.* Водно-болотные угодья России: Паханческая губа URL: <http://www.fesk.ru/wetlands/102.html> (дата обращения: 27.01.2019).
5. *ООПТ России*. Ненецкий. URL: <http://oopt.aari.ru/oopt/Ненецкий-0> (дата обращения: 27.01.2019).
6. *Организация Объединенных Наций*. Конвенция о водно-болотных угодьях, имеющих международное значение, главным образом, в качестве местобитаний водоплавающих птиц. URL: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/waterfowl.shtml (дата обращения: 27.01.2019).
7. *Союз охраны птиц России*. КОТР Европейской России: Варандейская Лапта. URL:

<http://www.rbcu.ru/kotr/не006.php> (дата обращения: 27.01.2019).

8. *Союз охраны птиц России*. О программе КОТР. [Электронный ресурс], режим доступа: <http://www.rbcu.ru/programs/77/3387/> (дата обращения: 27.01.2019).

9. *M. Nevalainen, I. Helle, J. Vanhatalo*. Preparing for the unprecedented - towards quantitative oil risk assessment in the Arctic marine areas.. *Marine Pollution Bulletin*, 114 (1). – 2017. - P. 90-101.

Поступила в редакцию: 15.09.2019 г.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках:

Березкин В.А., Губайдуллин М.Г. Моделирование аварийного разлива нефти в Печорском море для оценки зоны поражения акватории с учетом направления и скорости ветра // *Антропогенная трансформация природной среды*. 2019. №5. С. 15-20.

Please cite this article in English as:

Berezkin V.A., Gubaidullin M.G. Modeling of an oil spill in Pechora sea for the impact area estimation considering various wind directions and velocities // *Anthropogenic transformation of the natural environment*. 2019. №5. P. 15-20.