

УДК 502/504

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ВЫБОРА ПЛОЩАДКИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ НЕФТЕХРАНИЛИЩА В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

<sup>1,2</sup>Мискевич И.В., <sup>1</sup>Коробов В.Б., <sup>2</sup>Жезлов А.С.

<sup>1</sup>*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: subarct@gmail.com;*

<sup>2</sup>*Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, Архангельск,  
e-mail: ov@yandex.ru*

Рассмотрены особенности выбора площадки под проектируемые нефтехранилища в западном секторе Российской Арктики с учетом его природных условий. Негативные последствия экологического ущерба, возникающего при аварии на нефтехранилищах, зависят от пространственных масштабов распространения нефти и её попадания в уязвимые зоны с наличием охраняемых видов флоры и фауны, скоплений промысловых видов рыб, птиц и зверей. В рамках данной проблемы также необходимо учитывать возможность попадания аварийной нефти на участки значимых социально-экономических и других интересов коренного населения арктических районов. Наиболее опасной ситуацией является попадание нефти в морские воды, когда сложно спрогнозировать траекторию дрейфа пятна, особенно при меняющихся гидрометеорологических условиях. Его ликвидация очень осложнена или даже практически невозможна в зимний период. Весьма опасным также является попадание аварийной нефти в водотоки, учитывая большую скорость её переноса по рекам и транспортную малодоступность многих тундровых участков речных водосборов, что увеличивает сроки ликвидации разливов и устранения их последствий. При проведении проектных работ для размещения нефтехранилищ предлагается рассматривать участки без наличия склона для стока дренажных вод непосредственно в морские воды и в большие и средние реки. Из таких участков рекомендуется выделить зоны с наименьшим количеством дренажных водотоков (ручьев). Из них затем выбирается участок, с которого вынос аварийной нефти принесет минимальный экологический ущерб. При подобном выборе может возникать конфликтная ситуация по определению приоритета в учете экологической значимости охраны различных представителей фауны и флоры и в учете интересов коренного населения Арктики. Особенно внимательно к выбору мест размещения нефтехранилищ следует относиться при проектировании промышленных объектов на территории полуострова Ямал с наличием густой речной (озерно-речной) сети и омываемого водами Байдаратской губы и сильно опресняемой Обской губы. Для решения рассматриваемой проблемы рекомендуется использовать экспертные технологии. Рассмотренный подход удовлетворяет требованиям природоохранного законодательства РФ об обязательном рассмотрении разных вариантов пространственного размещения опасных в экологическом отношении промышленных объектов.

**Ключевые слова:** Арктика, проект, нефтехранилище, авария, нефть, водные объекты, распространение, экология, уязвимость, оптимизация выбора

## GEOECOLOGICAL OPTIMIZATION OF SITE SELECTION FOR OIL STORAGE IN THE WESTERN SECTOR RUSSIAN ARCTIC

<sup>1,2</sup>Miskevich I.V., <sup>1</sup>Korobov V.B., <sup>2</sup>Zhezlov A.S.

<sup>1</sup>*Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: subarct@gmail.com;*

<sup>2</sup>*Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk,  
e-mail: zhezlova@edu.nurfu.ru*

The peculiarities of choosing a site for the projected oil storage facilities in the western sector of the Russian Arctic, taking into account its natural conditions, are considered. The negative consequences of environmental damage resulting from an accident at oil storage facilities depend on the spatial scale of oil distribution and its entry into vulnerable areas with the presence of protected species of flora and fauna, clusters of commercial species of fish, birds and animals. Within the framework of this problem, it is also necessary to take into account the possibility of accidental oil entering areas of significant socio-economic and other interests of the indigenous population of the Arctic regions. The most dangerous situation is the ingress of oil into sea waters, when it is difficult to predict the trajectory of the drift of the spot, especially under changing hydrometeorological conditions. Its elimination is very complicated or even practically impossible in winter. The ingress of emergency oil into watercourses is also very dangerous, given the high speed of its transfer along rivers and the transport inaccessibility of many tundra sections of river catchments, which increases the time needed to eliminate spills and eliminate their consequences. When carrying out design work for the placement of oil storage facilities, it is proposed to consider areas without a slope for drainage water runoff directly into sea waters and into large and medium-sized rivers. From such sites, it is recommended to allocate zones with the least number of drainage watercourses (streams). Then a site is selected from them, from which the removal of emergency oil will bring minimal environmental damage. With such a choice, a conflict situation may arise to determine the priority in taking into account the ecological significance of the protection of various representatives of fauna and flora and in taking into account the interests of the indigenous population of the Arctic. Particularly careful about the choice of locations for oil storage facilities should be taken when designing industrial facilities on the territory of the Yamal Peninsula with the presence of a dense river (lake-river) network and washed by the waters of the Baydaratskaya Bay and the heavily desalinated Ob Bay. To solve the problem under consideration, it is recommended to use expert technologies. The considered approach satisfies the requirement of the environmental legislation of the Russian Federation on the mandatory consideration of various options for the spatial placement of environmentally hazardous industrial facilities.

**Keywords:** Arctic, project, oil storage, accident, oil, water bodies, distribution, ecology, vulnerability, choice optimization

Проектирование промышленных объектов в арктических условиях предъявляет особые требования к разработке природоохранных мероприятий. Это, с одной стороны обусловлено особой уязвимостью арктической природы и наличием здесь значительного количества охраняемых представителей флоры и фауны, с другой – большими финансовыми и техническими издержками при ликвидации последствий аварийных ситуаций. Для западного сектора Российской Арктики данная проблема усугубляется наблюдаемым потеплением климата, сопровождаемым большим протаиванием многолетнемерзлых пород и ростом частоты аномальных гидрометеорологических условий, способствующих возникновению аварийных ситуаций. При решении этой проблемы особенно важной становится минимизация риска попадания в природную среду нефти и нефтепродуктов при возникновении аварийных ситуаций на нефтехранилищах. В условиях Арктики, как показал разлив дизельного топлива на нефтехранилище в г. Норильске 29 мая 2020 года, не учет данного фактора может привести к крайне негативным экологическим последствиям.

Целью проведенных исследований являлась оценка возможности размещения объектов хранения нефти и нефтепродуктов, обеспечивающего минимальный экологический ущерб при возникновении аварийных ситуаций, с учетом специфики природных условий западного сектора Российской Арктики. В ходе проведения исследований были собраны и обобщены сведения, имеющие отношение к рассматриваемой проблеме.

Основными элементами нефтехранилищ, а также любых складов ГСМ в настоящее время являются металлические резервуары, техническое состояние которых оказывает непосредственное влияние на вероятность аварийных разливов нефти. Следует заметить, что в настоящее время существенная доля таких резервуаров на нефтегазовых объектах характеризуется значительным износом (порядка 90%), однако они продолжают эксплуатироваться [1].

На техническое состояние металлических резервуаров влияет большое количество факторов как технического (возраст резервуара, используемые при строительстве материалы, условия и характер эксплуатации), так и природного происхождения (аномальные гидрометеороусловия). В Арктике негативные эффекты в данном отношении формируют высокая интенсивность

коррозионных процессов [2] и повреждения оснований и фундаментов [3], располагающихся на многолетнемерзлых грунтах, подверженных интенсивному таянию на фоне наблюдаемого потепления климата.

Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов при разрушении нефтехранилищ или даже при их полном уничтожении также могут возникать за счет диверсий, падений летательных аппаратов и их обломков, метеоритов или при пролете кометы. Подобные события имеют крайне малую вероятность (не более  $1 \times 10^{-9}$ ), однако их тоже необходимо учитывать при проектировании размещения промышленных объектов с большими объемами хранения и оборота нефти и нефтепродуктов.

Негативные последствия экологического ущерба, возникающего при аварии на нефтехранилище, зависят, главным образом, от пространственных масштабов распространения нефти и её попадания в уязвимые зоны с наличием охраняемых видов флоры и фауны, скоплений промысловых видов рыб, птиц и зверей, а также на участки значимых социально-экономических и других интересов коренного населения арктических районов. В данном отношении наиболее опасной ситуацией является попадание нефти в морские воды, когда сложно спрогнозировать траекторию дрейфа пятна, особенно при меняющихся гидрометеорологических условиях, и его ликвидация очень осложнена или даже практически невозможна. Последнее, например, может иметь место при загрязнении прибрежной мелководной зоны моря, недоступной для морских судов (ледоколов), с наличием дрейфующего или припайного льда. Кроме этого, в Белом и Баренцевом морях имеются участки с большой величиной прилива, где содержание взвеси достигает 1000-10000 мг/л и даже более. Нефтяная пленка, попадая на подобный участок, сорбируется взвесью, и частицы нефти распределяются по всей водной толще, что делает использование бонов, различных плавающих сорбентов и СПАВ малоэффективным [4]. С другой стороны, прибрежные зоны западного сектора Российской Арктики характеризуются наличием значительного количества «краснокнижных» птиц и морских млекопитающих. Многие участки арктического морского побережья попадают под действие Рамсарской конвенции о водно-болотных угодьях (*Convention on Wetlands*). Они имеют международное значение, главным образом в качестве местобитаний водоплаваю-

щих птиц. В сильно опресняемых районах арктических морей происходят нагульные и преднерестовые миграции ценных видов ихтиофауны (семейство лососевых, сибирский осетр), а также массовых промысловых видов рыб.

Второй в данном отношении по степени экологической опасности, на наш взгляд, является ситуация при попадании аварийной нефти в водотоки. Для рассматриваемого региона типична большая увлажненность, что формирует на его территории обширную разветвленную сеть дренажных водотоков (ручьев) и заболоченных участков. Стеkanie нефти под уклон местности в большинстве случаев приводит к её попаданию в подобную сеть и далее в более крупные водотоки (малые, средние и большие реки). В конечном счете существует большая вероятность, что аварийная нефть может попасть и в морские воды.

Транзит нефти в случае возникновения аварии на проектируемом нефтехранилище может идти по разным водотокам. Это приводит к необходимости выбора участка его расположения, который обусловит наименьший экологический риск для окружающей среды при попадании нефти в поверхностные воды. Здесь возникает довольно сложная проблема выбора водотока, загрязнение которого минимизирует экологический ущерб, т.к. на водосборах различных рек уязвимые зоны могут иметь различный характер. Например, какой водоток следует считать наиболее уязвимым: с наличием «краснокнижных» водных птиц, или с наличием нерестовых участков лососевых рыб, или с наличием участка активной хозяйственной деятельности представителей коренного населения Арктики.

Рассматривая возможные траектории движения пятна аварийной нефти, также следует обратить внимание на состав поверхности почвенного (почвенно-растительного) покрова. Наиболее быстрое распространение нефти при наличии уклонов местности в сторону водных объектов будет иметь место на скалистых и сланцевых грунтах, лишенных растительности. Наиболее медленное растекание нефти должно наблюдаться по почвенно-растительному покрову, покрытому тундровым ерником. Он формируется густыми зарослями низкорослых или стелящихся кустарников или карликовых деревьев (ив, берез) высотой от 0,2 до 1-2 метров. При большой протяженности такой ерник способен остановить продвижение аварийной нефти, а аккумуля-

рованную в нем нефть относительно легко утилизировать с помощью различных химических и бактериальных препаратов. Существенное замедление продвижения аварийной нефти по поверхности почвы должно наблюдаться и на участках, покрытых ягелем, который обладает большой сорбционной способностью к нефти. Однако защитный эффект ягеля зимой наблюдаться не будет из-за его полного покрытия снежным покровом. В отличие от ягеля ерник на склонах тундровой местности полностью снегом зимой обычно не покрывается.

При возникновении ситуации с наличием разнoвариантного выбора места для размещения нефтехранилища, например при определении приоритета защиты ценных видов рыб или охраняемых представителей орнитофауны, целесообразно обратиться к экспертным технологиям. Они позволяют сделать обоснованный выбор оптимального в экологическом отношении участка для строительства нефтебазы. Достигается это при следующем порядке процедур [5]:

- формируется группа экспертов;
- производится выбор факторов, влияющих на конечный результат, и показателей их оценки;
- производится экспертный опрос по определению значимости факторов;
- на основании полученных данных рассчитываются весовые коэффициенты;
- полученные весовые коэффициенты вводятся в модель, по которой рассчитывается интегральный показатель альтернатив;
- выбирается оптимальная альтернатива размещения объекта.

Наименьший экологический риск при возникновении аварий на нефтехранилищах будет иметь место при растекании нефти по почвенно-растительному покрову с наличием ерника, не дренируемому сетью микроводотоков. Скорость её движения при этом будет на 2-3 порядка ниже, чем в водах приливного моря и в реках. Исключение в этом отношении представляют малые реки, мелководные участки которых могут быть полностью заняты зарослями водных макрофитов. Они формируют своего рода ботанический барьер, способный в значительной мере затормозить и ограничить транзит нефти по водотоку.

При попадании нефти в тундровое озеро скорость её распространения также будет сравнительно низкой (не более нескольких см/с), что увеличивает период для принятия необходимых мер по ликвидации последствий аварии. Исключением в данном

отношении могут быть водоемы с сильной проточностью или ситуации, когда штормовой ветер будет способствовать дрейфу нефтяной пленки вдоль большой оси озера.

В рамках решения рассматриваемой проблемы следует отметить специфику выбора места расположения нефтехранилища в устьевых областях арктических рек. На их локальной территории обычно наблюдается уклон местности к водотокам, что влечет за собой большую вероятность попадания аварийной нефти в устье реки и далее в морские воды. Выбор необходимой площадки для проектируемого нефтехранилища на таком объекте можно сделать, учитывая процессы, происходящие в зоне смешения речных и морских вод. Согласно модели маргинального фильтра, разработанной академиком А.П. Лисициным, в устьях рек геохимические процессы по мере возрастания солености формируют три последовательные зоны: мутьевую, химическую и биологическую «пробки» [6]. В первой зоне наблюдаются максимальные концентрации взвеси, во второй – наибольшая интенсивность геохимических процессов и в третьей зоне – повышенная биопродуктивность морских вод. Попадая в зону высокой мутности устьевых вод, часть нефтяной пленки сорбируется на взвешах и, распространяясь на всю водную толщу, становится недоступной для удаления боновыми заграждениями и поверхностно-активными веществами. В зоне повышенной биопродуктивности морских вод непосредственный контакт гидробионтов, птиц и морских млекопитающих с нефтью может нанести максимальный ущерб водной фауне. В данной ситуации нефтехранилище целесообразно строить на участке, откуда потоки аварийной нефти могут попасть только в зону химической «пробки», соленость вод которой обычно соответствует диапазону 5-20‰ [7].

Анализ природных условий западного сектора Российской Арктики показывает, что наибольший экологический риск поражения охраняемых представителей флоры и фауны при возникновении аварии на нефтехранилищах будет иметь место в низменных сильнообводненных районах. Если учитывать возможность попадания аварийной нефти в морские воды, то к ним следует отнести побережье Большеземельской тундры, южную оконечность Новой Земли и побережье Байдаракской губы.

Сильное загрязнение морской среды в вышеуказанных районах может нанести большой ущерб популяции атлантического

моржа (*Odobenus rosmarus rosmarus*), занесенного в Красную Книгу России (категория 2). Из птиц, которых можно встретить в прибрежных морских водах рассматриваемого сектора Арктики, и которые также внесены в Красную Книгу России, следует отметить белоклювую гагару (*Gavia adamsii*), краснозобую казарку (*Rufibrenta ruficollis*), гуся-пискульку (*Anser erythropus*) и малого (тундрового) лебедя (*Cygnus bewickii*) [8].

Наибольшее разнообразие представителей охраняемой проходной и полупроходной ихтиофауны, которые совершают большие миграции и встречаются как в морских, так и в речных (озерных) водах, наблюдается в Обской губе Карского моря. В их состав в том числе входят сибирский осетр (*Acipenser baerii*), который относится к особо ценным видам рыб, а также омуль арктический (*Coregonus autumnalis*), нельма (*Stenodus leucichthys nelma*), муксун (*Coregonus muksun*) и чир (*Coregonus nasus*), относящиеся к ценным видам рыб. Значительное количество ценных видов рыб также встречается в Печорской губе Баренцева моря: семга (*Salmo salar*), омуль арктический, нельма и чир.

Охраняемых видов арктической растительности достаточно много, однако большинство из них приурочено к локальным биотопам и, в отличие от «краснокнижных» представителей фауны, они не имеют широкого распространения в различных районах западного сектора Российской Арктики. На территории Ненецкого автономного округа, например, список таких растений содержит 123 вида (из них 102 вида сосудистых растений: 2 вида папоротниковидных и 100 видов отдела цветковых), а также 36 видов грибов и лишайников.

Из такой растительности наиболее известна родиола розовая, или «золотой корень» (*Rhodiola rosea*), которая включена в Красную книгу Российской Федерации (категория 3). Она обычно встречается на скалистых (реже на песчаных) берегах всех морей рассматриваемого региона. Наименьший экологический ущерб при возникновении аварии на нефтехранилище можно ожидать в бассейне Белого моря, где заметно снижается разнообразие охраняемых представителей животного мира, практически все места скопления краснокнижных птиц отведены под охраняемые территории (ООПТ) и имеются более благоприятные технические и климатические условия для ликвидации аварийных разливов нефти. Исключением может являться лишь его се-

верный район, так называемая Воронка, где возможность оперативной ликвидации разлива нефти в море сильно затруднена. Кроме этого, необходимо упомянуть, что, в отличие от других морей, в Онежском заливе Белого моря производится промышленная добыча морских водорослей, заросли которых могут пострадать при аварийном разливе нефти в его прибрежной зоне.

Таким образом, получаем, что особенно внимательно к выбору мест размещения нефтехранилищ следует относиться при проектировании промышленных объектов на территории полуострова Ямал с наличием густой речной (озерно-речной) сети и омываемого водами Байдарацкой губы и сильно опресняемой Обской губы.

При проектном выборе места расположения нефтехранилища вблизи крупных водных объектов можно рекомендовать следующую схему действий. В районе нахождения планируемой промплощадки с помощью анализа карт (космоснимков) оконтуриваются локальные участки, не имеющие прямого склона (дренажных водотоков) в сторону моря, озер или больших и средних рек. Далее из найденных участков выделяются те, где имеется наименьшее количество микроводотоков, входящих в гидрографическую речную сеть. Затем из них выбирается зона, откуда дренажные воды поступают на водотоки, на которых может наблюдаться минимальный экологический ущерб, или водотоки, легкодоступные для оперативного принятия мер по ликвидации последствий аварийного разлива. Разумеется, оптимальным вариантом для расположения нефтехранилища будет место, откуда аварийная нефть не может попасть в транзитные водотоки и (или) водоёмы. Например, это может быть небольшая локальная низменность (котловина), дренаж с которой происходит в болото или непроточное небольшое мелководное озеро с отсутствием ихтиофауны и водоплавающих птиц. Однако вероятность обнаружения подобного места в большинстве тундровых районов очень мала.

Предложенная схема имеет весьма ориентировочный характер, т.к. необходимо учитывать другие разнородные требования проектируемого промышленного объекта (финансовые, транспортные, технологические, логистические и т.п.). Тем не менее она вполне удовлетворяет требованию природоохранного законодательства РФ об обязательном рассмотрении разных вариантов пространственного размещения опасных

в экологическом отношении промышленных объектов.

*Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек» № 0128-2021-0006.*

### Список литературы / Reference

1. Гизуллин В.И., Жданов Р.А. Диагностирование технического состояния резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов // Инновации и инвестиции. 2020. № 12. С. 112-114.
- Gizullin V.I., Zhdanov R.A. Diagnostics of the technical condition of reservoirs for storing oil and oil products // Innovatsii i investitsii. 2020. No. 12. P. 112-114 (in Russian).
2. Николаева М.В., Атласов Р.А. Особенности коррозии резервуаров на Крайнем Севере // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2018. № 6. С. 31-42.
- Nikolaeva M.V., Atlasov R.A. Peculiarities of tank corrosion in the Far North // Elektronnyy nauchnyy zhurnal Neftgazovoye delo. 2018. No. 6. P. 31-42 (in Russian).
3. Терегулов М.Р., Качаргин А.А. Причины появления дефектов фундаментов резервуаров // Наука и образование сегодня. 2018. № 12 (35). С. 15-16.
- Teregulov M.R., Kachargin A.A. Causes of defects in reservoir foundations // Nauka i obrazovaniye segodnya. 2018. No. 12 (35). P. 15-16 (in Russian).
4. Мискевич И.В. Экологические аспекты наличия аномально высоких концентраций взвешенных веществ в макроприливных устьях рек арктической зоны // Арктика: экология и экономика. 2018. № 3 (31). С. 23-30.
- Miskevich I.V. Environmental aspects of the presence of abnormally high concentrations of suspended solids in macrotidal river mouths in the Arctic zone // Arktika: ekologiya i ekonomika. 2018. No. 3 (31). P. 23-30 (in Russian).
5. Коробов В.Б. Теория и практика экспертных методов / Под ред. Кочурова Б.И. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. 281 с.
- Korobov V. B. Theory and practice of expert methods / Pod red. Kochurova B.I. M.: NITS INFRA-M, 2019. 281 p. (in Russian).
6. Демина Л.Л. К оценке роли глобальных биологических фильтров в геохимической миграции микроэлементов в океане: маргинальный фильтр океана // Доклады академии наук. 2011. Т. 439. № 1. С. 114-117.
- Demina L.L. Evaluation of the role of global biological filters in the geochemical migration of trace elements in the ocean: the marginal filter of the ocean // Doklady akademii nauk. 2011. Vol. 439. No. 1. P. 114-117 (in Russian).
7. Гордеев В.В. Геохимия системы река-море. М.: ИП Матушкина И.И., 2012. 452 с.
- Gordeev V.V. Geochemistry of the river-sea system. M.: IP Matushkina I.I., 2012. 452 p. (in Russian).
8. Стишов М.С. Особо охраняемые природные территории Российской Арктики: современное состояние и перспективы развития. М., Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. 427 с.
- Stishov M.S. Specially protected natural areas of the Russian Arctic: current state and development prospects. M., World Wildlife Fund (WWF), 2013. 427 p. (in Russian).