

## ПРОБЛЕМЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ МОРСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ОСВОЕНИИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В АРКТИКЕ

Шельфовые арктические моря России содержат богатые запасы нефти, природного газа и газо-конденсата.

При освоении нефтегазоносных районов шельфа арктических морей и побережья Арктики не исключена вероятность возникновения проблем экологического характера в результате аварийных разливов сырой нефти и нефтепродуктов при авариях на нефтедобывающих и нефтеналивных комплексах и танкерах при перевозке нефти.

Наиболее простым случаем возможным нефтяного загрязнения акватории арктических морей являются аварийные разливы на поверхности воды. Большинство методов борьбы с нефтяными загрязнениями морских акваторий разработано именно для этого вида загрязнений (нефтесборщики, боновые ограждения, диспергенты). При подходе загрязнения к берегу происходит загрязнение береговой зоны, степень которого зависит от геоморфологии берега. При неблагоприятных условиях происходит вынос нефтяного загрязнения (с прибоем или с нагоном) на берег и впитывание его в почву.

Арктические моря большую часть года покрыты льдом. Сплоченность и дрейф льда оказывают сильное влияние на перенос и трансформацию разливов нефти на поверхности воды в разводьях и полыньях. Загрязнение ледяного покрова происходит в результате сброса нефти непосредственно на верхнюю поверхность льда или под лед, при вморозании нефтяного загрязнения в лед в процессе образования льда, при сжатии ледяных полей, в результате чего нефть оказывается на верхней поверхности льда или уходит под лед.

Нефть, попавшая на верхнюю поверхность ледяного покрова, растекается по поверхности, частично испаряется, частично впитывается в снежно-ледяной покров и переносится дрейфующей загрязненной льдиной до ее разрушения или таяния. Нефть, попавшая под лед, растекается и скапливается в полостях и карманах на нижней поверхности ледяного покрова, часть нефти может заполнять трещины и разводья.

Модель OilMARS (Oil Spill Model for the Arctic Seas) была разработана в ААНИИ для расчета переноса и трансформации нефтяных загрязнений в арктических ледовитых морях в результате аварийных длительных разливов нефти от неподвижных или движущихся источников, а также для расчета распространения обнаруженных на поверхности моря пятен нефтяных загрязнений.

Оперативный вариант модели распространения нефтяных загрязнений подключается к общей системе оперативного гидрометеорологического обслуживания арктических морей в случае необходимости и базируется на совместном использовании модели переноса и трансформации нефти в арктических морях и работающей в оперативном режиме гидродинамической модели.

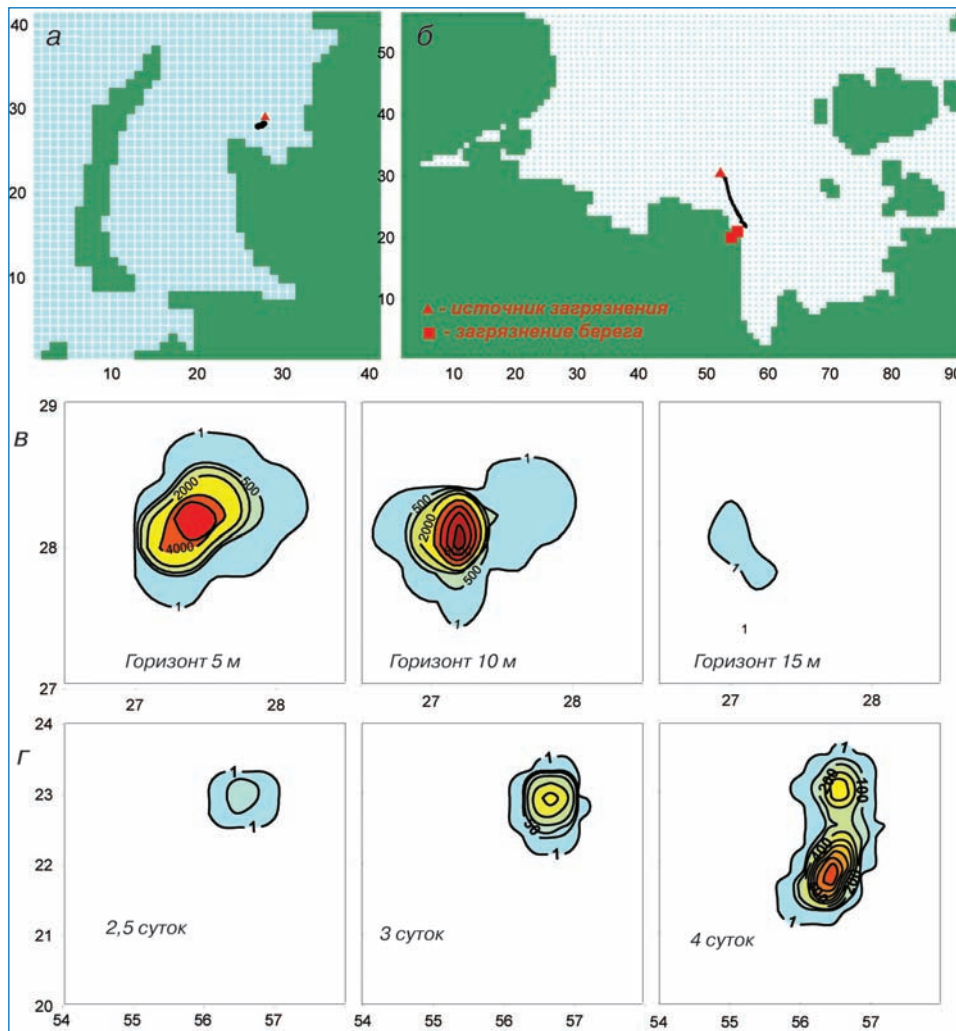
В настоящее время для оперативных расчетов и прогнозирования движения воды и льда на акватории Северного Ледовитого океана в ААНИИ используется двумерная гидродинамическая модель совместной динамики воды и льда. Результаты моделирования регулярно выкладываются на сайте ААНИИ и на портале ЕСИМО ААНИИ. Система расчета и прогноза переноса и трансформации нефтяных загрязнений в Баренцевом и Карском морях сейчас находится в стадии опытной эксплуатации. Для удобства ввода исходной информации и для визуализации результатов расчета с использованием пакета Generic Mapping Tools был разработан специальный интерфейс пользователя, доступный пользователям на портале ЕСИМО ААНИИ (<http://www.aari.nw.ru/projects/ECIMO/index.php?im=102>).

Многочисленные численные эксперименты, проводившиеся на акваториях Баренцева, Карского и Лаптевых морей показали, что при длительных разливах некоторая часть массы нефти может погрузиться в воду, особенно этот процесс значителен в распресненной приустьевой зоне (до 40–50 % от общей массы разлива).

Внутриводное загрязнение нефтью при аварийном сбросе на поверхность воды возникает при обрушении ветровых волн и вбивании частиц нефти в воду, в результате чего образуется эмульсия типа «нефть в воде» и шлейф загрязнения в верхнем слое моря с возможной последующей адсорбцией капелек нефти на взвешенных минеральных частицах. Кроме того, в результате образования эмульсий типа «вода в нефти» и испарения легких фракций плотность и вязкость нефти значительно возрастают. При этом может быть достаточно небольшого изменения температуры воды или выноса пятна нефти в зону с меньшей поверхностной плотностью воды (зона влияния речного стока, прикромочная ледовая зона), чтобы нефть оказалась тяжелее воды в поверхностном слое и начала тонуть. Отметим, что и сырая нефть Приразломного месторождения, и нефть REBCO (Russian Export Blend Crude Oil), проходящая через нефтяные терминалы северо-запада России, содержат большой процент асфальтенов и смол и способны образовывать устойчивые эмульсии типа «вода в нефти».

Также следует особо выделить возможность возникновения внутриводного загрязнения нефтью вследствие аварий на подводных нефтепроводах и на платформах, расположенных на шельфе арктических морей. Экологические последствия таких аварий показала прошлогодняя катастрофа в Мексиканском заливе.

В толще воды нефтяное загрязнение переносится течениями и существенно зависит от процессов вертикального перемешивания и термохалинной структуры воды. В результате нефть может оседать на дно, образуя зоны донного загрязнения, или всплывать на поверхность воды или под лед, образуя зоны вторичного загрязнения.



Пример расчета длительного аварийного разлива в прибрежной зоне.

*Карское море:* положение разлива на поверхности воды через двое суток после начала разлива (а) и концентрация нефтеуглеводородов ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) на разных горизонтах через двое суток (в).

*Море Лаптевых:* положение разлива на поверхности воды через четверо суток после начала разлива (б) и концентрация нефтеуглеводородов ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) на горизонте 10 м через 2,5, 3 и 4 суток (г).

На осях координат приведены сеточные координаты (шаг сетки для Карского моря 28 км и для моря Лаптевых 13,8 км).

Внутриводное загрязнение является достаточно пространственным явлением. К примеру, измерения уровня загрязнения нефтеуглеводородами Балтийского моря и Финского залива, проведенные в 1980-е гг., показали, что на поверхности моря в виде пленки содержится менее 4 % загрязнения, 15 % загрязнения содержится в донных осадках и около 80 % загрязнения содержится в воде в виде эмульсий, коллоидных растворов, взвесей и др.

Для расчета внутриводного загрязнения был разработан специальный модельный блок, и в настоящее время модель OiMARS работает в трехмерном варианте, рассчитывая внутриводное распространение дисперсионного шлейфа и нефти, погружившейся в воду. Модель рассчитывает появление и распространение вторичного нефтяного загрязнения на поверхности воды и загрязнение морского дна.

В качестве примера приведем результаты расчетов для морей Карского и Лаптевых. В обоих случаях проводился расчет аварийных разливов нефти

на протяжении 4 суток при умеренном ветре 5–10 м/с со свойствами нефти верхнего пласта Приразломного месторождения (начальная плотность  $908 \text{ кг}/\text{м}^3$ , суммарная доля асфальтенов и смол – 12 %). Источники загрязнения размещались в зонах влияния рек Обь, Енисей и Лена.

В результате суммарного воздействия вертикальной дисперсии и увеличения плотности нефти образование внутриводного загрязнения происходит достаточно быстро. Глубина погружения и концентрация загрязнения зависят от плотности, площади и массы затонувшей нефти и плотности структуры воды. Нефть располагается в слое, где плотность воды соответствует плотности нефти. Естественно, при наличии хорошо выраженного пикноклина нефть погружается только до пикноклина (пикноклин располагается на глубине 10–12 м). Пространственно-временная неоднородность термохалинной структуры воды, полей ветра и течений, а также плотностная неоднородность различных участков нефтяного разлива приводят к формированию

многоядерных структур внутриводного загрязнения.

В заключение следует отметить, что в результате внутриводного загрязнения образуются обширные зоны с концентрацией нефтеуглеводородов, во много раз превышающей ПДК, которые могут сохраняться достаточно долго при низкой активности процессов биологической утилизации нефтяных углеводородов в Арктике. Эти зоны могут быть зафиксированы только прямыми методами измерений (взятием проб воды). В арктических морях имеются все предпосылки для образования внутриводного загрязнения при длительных разливах нефти: тяжелые сорта нефти с большим содержанием асфальтенов и смол, способные образовывать устойчивые эмульсии типа «вода в нефти» со значительным увеличением плотности, а также обширные распредельные зоны с низкой плотностью воды в поверхностном слое.

*В.В. Становой, И.М. Ашик, И.А. Неелов, М.Ю. Кулаков, К.В. Фильчук (АНИИ)*