

## ЭКОЛОГИЯ, БИОЦЕНОЛОГИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ

УДК 57.574.2

DOI: 10.30758/0555-2648-2019-65-4-462-474

### ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ ГИДРОБИОНТАМИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ОНЕЖСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ

*Н.В. НЕВЕРОВА\**, *Т.Я. ВОРОБЬЕВА*, *А.В. ЧУПАКОВ*

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики  
имени академика Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, Россия*

*\*Nevnata@yandex.ru*

### ASSESSMENT OF ACCUMULATION OF PETROLEUM HYDROCARBONS BY THE HYDROBIONTS OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE ONEGA BAY OF THE WHITE SEA

*N.V. NEVEROVA*, *T.YA. VOROBYEVA*, *A.V. CHUPAKOV*

*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Russia*

*\*Nevnata@yandex.ru*

*Received July, 3, 2019*

*Accepted October, 2, 2019*

*Keywords:* Bivalves, fuel oil spill, Onega Bay, petroleum hydrocarbons.

#### Summary

In order to assess the current state of the ecosystem of the southeast of the Onega Bay of the White Sea affected by fuel oil spill in 2003, the accumulation of petroleum hydrocarbons was analyzed by the dominant species of aquatic organisms collected on the littoral of the most polluted coast in the areas of Purnem and Lyamts villages. In 2012, samples of aquatic organisms were taken in an area where all the species discussed in this work are represented on a small area: bivalved mollusks, attached molluscs, gastropods, polychaetes. In 2013 and 2018, samples of hydrobionts were additionally selected, in the three-kilometer strip of the coast on either sides of the given point.

In 2012 and 2013, high concentrations of HC in the tissues of bivalves were recorded. In 2018, the concentrations of hydrocarbons in the tissues of the studied hydrobionts were comparable to background values. A non-parametric test of Mann-Whitney showed a significant decrease in HC in mussel tissue from 2013 to 2018, at a significance level of 0.05.

---

**Citation:** *Neverova N.V., Vorobyeva T.Ya., Chupakov A.V.* Assessment of accumulation of petroleum hydrocarbons by the hydrobionts of the south-eastern part of the Onega bay of the White sea. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2019, 65, 4: 462–474. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2019-65-3-462-474.

---

Taking into account the low levels of HC in the aqueous medium (less than 1 MPC of fishfarm) and in bottom sediments (from 0.34 to 9.03 mg/kg, the median of 1.41 mg/kg) in 2018, and is comparable with the background contents of hydrocarbons in tissues of aquatic organisms. We can conclude that after 15 years of the fuel oil spill, the condition of the Cape Deep ecosystem in terms of the content of hydrocarbons returns to the baseline state, continuing emissions of oil-sand lumps do not adversely affect the ecosystem. Based on the work done, it can also be concluded that ecotoxicological methods are priority in assessing the prolonged (or delayed) accidental impact of heavy petroleum products on aquatic ecosystems. The conclusion about the presence or absence of a negative impact on the aquatic ecosystem of hydrocarbons, based solely on the analysis of abiotic components, may not be sufficiently informative because it does not take into account the accumulative and deferred effects, especially manifested in the cold Arctic waters.

*Поступила 3 июля 2019 г.*

*Принята к печати 2 октября 2019 г.*

*Ключевые слова:* двустворчатые моллюски, нефтяные углеводороды, Онежский залив, разлив мазута.

С целью оценки пролонгированного воздействия аварийного разлива топочного мазута на морскую прибрежную субарктическую экосистему проведен анализ накопления нефтяных углеводородов (УВ) доминирующими видами гидробионтов литорали юго-восточной части Онежского залива Белого моря. Принимая во внимание низкие уровни содержания УВ в водной среде (менее 0,05 мг/дм<sup>3</sup>) и в донных отложениях (от 0,34 до 9,03 мг/кг, медиана 1,41 мг/кг), зафиксированные в 2018 г., и сравнимые с условно фоновыми показатели содержания УВ в тканях гидробионтов на изучаемом участке, не наблюдается негативного воздействия на состояние экосистемы прибрежной зоны мыса Глубокий, по показателям содержания УВ, по истечении 15 лет после аварийного разлива.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Нефтяные углеводороды являются одними из наиболее широко распространенных поллютантов. Поступление их в водные экосистемы связано в основном с деятельностью нефтегазовой индустрии (добыча и транспортировка нефтеуглеводородов) и функционированием водного транспорта. Аварийные разливы не являются главным источником нефтяного загрязнения Мирового океана, однако подобные случаи могут привести к тяжелым и даже необратимым последствиям для локальных участков акваторий и, в особенности, для прибрежных зон. Попавшие в водную среду нефтепродукты переносятся на значительные расстояния, а экологические последствия аварийных разливов носят трудно учитываемый характер, поскольку нефтяное загрязнение нарушает многие естественные процессы и взаимосвязи, существенно изменяет условия обитания всех видов живых организмов и накапливается в биомассе. Разлив тяжелее всех «бьет» по организмам, обитающим в прибрежной зоне, особенно обитающим на дне или на поверхности [1].

Бентосные организмы относятся к важнейшим компонентам водной экосистемы, участвующим в круговороте веществ, они составляют значительную часть рациона донных рыб. За счет высокой фильтрационной активности и обитания в донных осадках, бентосные организмы обладают повышенной способностью к накоплению токсикантов и являются одним из важнейших звеньев системы самоочищения водных объектов [8]. При определенных условиях экологические последствия разливов нефти и нефтепродуктов в тканях бентосных организмов проявляются даже спустя десятилетия, когда в них продолжают обнаруживать концентрации углеводородов, превышающие фоновые значения [2].

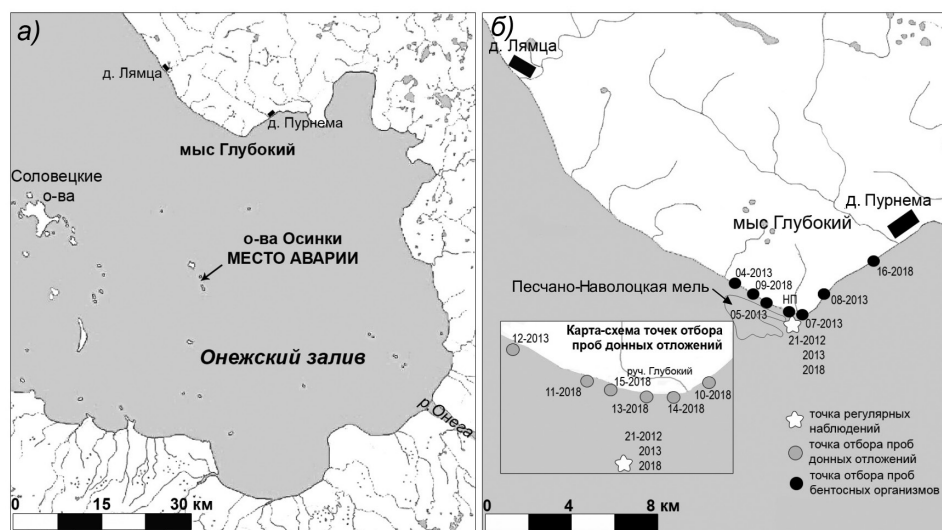


Рис. 1. Разлив топочного мазута в Онежском заливе Белого моря 1 сентября 2003 г.: а) — место аварийного разлива; б) — схема отбора проб воды, донных отложений и гидробионтов в 2012, 2013 и 2018 гг.

Fig. 1. Fuel oil spill in the Onega Bay of the White Sea on September 1, 2003: а) — place of accidental fuel; б) — a scheme for sampling water, bottom sediments and aquatic organisms in 2012, 2013 and 2018

Во время шторма 1 сентября 2003 г. в южной части Онежского залива Белого моря в результате аварийной швартовки двух танкеров произошел разлив 54 т мазута марки М-100 (рис. 1а). Аварийный разлив произошел при температурах воды 10–11 °С, и основная масса мазута в застывшем состоянии опустилась на дно, а часть была выброшена на берег. В результате очистных мероприятий было собрано только 9 т из 54 т мазута, попавшего в морскую воду. Береговая линия была загрязнена на протяжении 40 км, было обнаружено много мертвых уток и тюленей, наблюдали и выбросы мертвой рыбы. В наибольшей степени была загрязнена береговая линия в районе деревень Пурнема и Лямца, где количество выброшенного мазута, по расчетам экспертов, составляет 23,2 т [3].

В отличие от разливов в районах с умеренным климатом естественная очистка после выбросов нефти в Арктике может длиться не годы, а десятилетия [4]. По сути, последствия каждого разлива нефтепродуктов уникальны из-за сочетания физических свойств УВ, попавших в водную среду, природных факторов и климатических и гидрологических особенностей места аварии. При аварии в Онежском заливе сочетание данных факторов привело к тому, что даже спустя 15 лет с момента аварии, несмотря на относительно небольшой объем аварийного выброса, продолжается поступление в литоральную зону, в районе мыса Глубокий, мазутно-песчаных агрегатов, что говорит об остающихся на дне отложениях мазута [5].

С целью оценки современного состояния экосистемы юго-востока Онежского залива Белого моря, пострадавшей от разлива топочного мазута в 2003 г., мы провели сравнительный анализ содержания УВ в гидробионтах, собранных в 2012, 2013 и 2018 гг. в верхней части литорали района мыса Глубокий Онежского залива Белого моря, испытавшего максимальное воздействие аварийного разлива.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Донных животных и пробы воды отбирали по схеме, показанной на рис. 1б.

В 2012 г. образцы гидробионтов отбирались в районе наблюдательного пункта (НП), где на небольшой площади представлены все обсуждаемые в данной работе виды: макомы, мидии, литторина и пескожилы. В 2013 и 2018 гг. образцы гидробионтов отбирались как в точке НП, так и в трехкилометровой полосе побережья в обе стороны от точки НП. Пробы донных отложений и воды отбирались в тех же точках что и гидробионты.

Для определения нефтепродуктов в тканях донных животных были собраны типичные представители бентосных организмов верхней части литорали Онежского залива Белого моря — двустворчатые моллюски, брюхоногие моллюски и полихеты.

Объектами исследования послужили двустворчатые моллюски рода *Macoma balthica* (Linnaeus, 1758) — макома; *Mytilusedulis* (Linnaeus, 1758) — мидия (рис. 2); брюхоногие моллюски *Littorina littorea* (Linnaeus, 1758) — литторина и многоще-



Рис. 2. *Mytilusedulis* образует на литорали Онежского залива Белого моря обширные поселения — мидиевые банки

Fig. 2. *Mytilusedulis* forms on the littoral of the Onega Bay of the White Sea the extensive colonies — the mussel bed

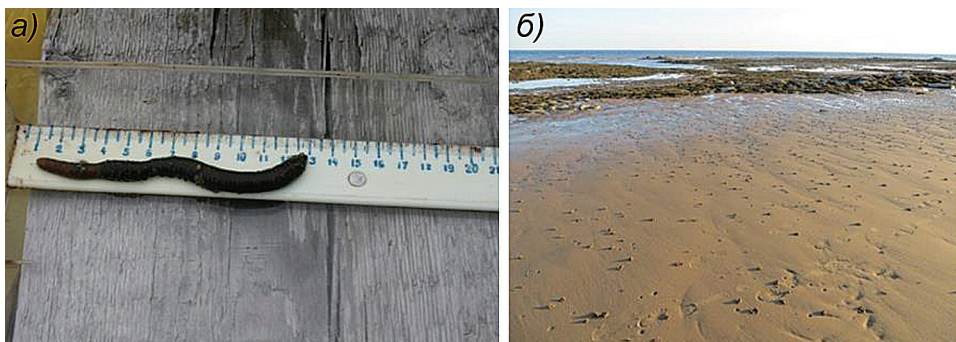


Рис. 3. Типичный представитель верхней части литорали Онежского залива Белого моря — пескожил (*Arenicola marina* (L.1758) (а) и его колонии на литорали Онежского залива (б)

Fig. 3. A typical representative of the upper part of the intertidal zone of the Onega Bay of the White Sea — packagel (*Arenicola marina* (L. 1758) (а) and his colony in the intertidal zone of the Onega Bay (б)

тинковые черви семейства Arenicolidae вида *Arenicola marina* (Linnaeus, 1758) — пескожил (рис. 3а, б).

Донные организмы собирали вручную на осушке и на сублиторали (с глубин до 1 м) при помощи гидробиологического скребка, сразу после сбора животные помещались в морскую воду для очистки кишечника на срок до 24 ч. После доставки в лабораторию моллюски препарировали с отделением мягких тканей целиком и замораживали до проведения аналитических работ. Род и вид животного определялся по [6].

Нефтяные углеводороды в тканях гидробионтов определяли по НДИ 05.17-2009 [7]. Метод основан на экстракции неполярной фракции углеводородов из проб гомогенизированных тканей, предварительно омыленных путем щелочного гидролиза, и последующей очистке от полярных соединений на оксиде алюминия с измерением интенсивности флуоресценции экстракта [8]. Анализ на содержание бенз(а)пирена (Б(а)П) в тканях моллюсков, в донных отложениях и органах рыб проводили в сертифицированной лаборатории СевПИНРО по стандартной методике М 04-15-2009 [9].

Данная работа обсуждается в терминах непараметрической статистики, ввиду малого объема выборки, поэтому для оценки процесса накопления УВ в тканях мидий был использован непараметрический тест Манна–Уитни.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

На начальном этапе работы нами было идентифицировано наличие нефтяного загрязнения тканей моллюсков в районе мыса Глубокий по показателям бенз(а)пирена (Б(а)П). Для чего в 2011 и 2013 гг. были отобраны ткани мидий и мышцы камбалы, в которых проведено определение Б(а)П, являющегося индикатором группы полиароматических углеводородов (ПАУ) [10]. ПАУ в нефтепродуктах изначально содержатся в малых количествах (в мазуте — 0,001 %), однако, будучи чрезвычайно устойчивыми в природной среде, могут не только свидетельствовать о присутствии нефтяного загрязнения, но и при определенных условиях выступать в качестве «реперных точек», позволяющих решать идентификационные задачи, судить о типе загрязнения, об условиях его возникновения и динамике загрязнения [11].

Ввиду отсутствия нормированных значений допустимых концентраций УВ, в том числе Б(а)П, в тканях моллюсков, нами был использован сравнительный анализ содержания УВ в мидиях, собранных в районах Белого моря, не подверженных прямому воздействию аварийного разлива мазута в Онежском заливе: для Б(а)П — район устья реки Лопшеньги (западный берег Двинского залива Белого моря), для суммарного накопления УВ — район устья реки Лопшеньги и район пролива Железные Ворота (пролив Сухое Море, Двинской залив Белого моря). Содержание УВ в тканях моллюсков для этих двух районов составило  $9,53 \pm 1,33$  мг/кг и  $9,48 \pm 1,31$  мг/кг соответственно.

Результаты оценки Б(а)П представлены в таблице 1.

Таблица 1

#### Содержание бенз(а)пирена в тканях бентосных организмов м. Глубокий Онежский залив, Белое море (2011, 2013 гг., июнь)

Точка отбора/год отбора	Наименование	Содержание бенз(а)пирена , мг/кг
НП/2011	Мидии	0,842
НП/2011	Камбала	0,004
НП/2013	Мидии	0,048
р. Лопшеньга/2013	Мидии	0,005



Как видно из данных, представленных в табл. 1, концентрации Б(а)П в тканях моллюсков с 2011 г. значительно снизились, но к 2013 г. еще оставались достаточно высокими по сравнению с данным показателем для условно фонового участка. Двустворчатые моллюски-фильтраторы известны наибольшей среди морских организмов способностью накапливать ПАУ без их заметного метаболического разложения и медленным их выведением [12, 15]. Благодаря активному метаболизму, при котором происходит достаточно быстрая деградация токсикантов в организме, в мышцах камбалы, выловленной в том же районе и в те же сроки, см. табл. 1, уровень бенз(а)пирена на порядок меньше, чем в тканях мидий [12].

В 2012, 2013 и 2018 гг. нами была проведена работа по оценке массовой доли УВ в тканях уже нескольких видов гидробионтов, а также в донных отложениях и придонном слое воды. Для того чтобы охватить все пути поступления УВ в гидробионты, были отобраны виды организмов, различных по типу питания и месту обитания в вертикальной зональности литорали. Макамы — собирающие детритофаги, обитающие на сублиторали; мидии — фильтрующие сестенофаги; литторина — питается растительной пищей и детритом, соскребая их с субстратов при помощи «терки» — радулы; пескожил — грунтоед, три последних вида обитают на литорали. Все собранные животные являются для Белого моря массовыми видами. Согласно литературным данным [10], встречаемость полихет и двустворчатых моллюсков (макомы и мидий) в пробах бентосных организмов верхней части литорали Онежского залива доходит до 100 %.

Результаты по определению значений концентраций УВ в тканях исследованных гидробионтов представлены на рис. 4.

Максимальные содержания УВ в тканях, за весь период исследований, наблюдались у двустворчатого моллюска макома в 2012 г. в точке НП (38,98 ± 7,6 мг/кг), рис. 1б. Максимальный уровень накопления УВ в выборке 2012 г. в тканях макомы обусловлен средой обитания данного моллюска, предпочитающего песчано-илистые

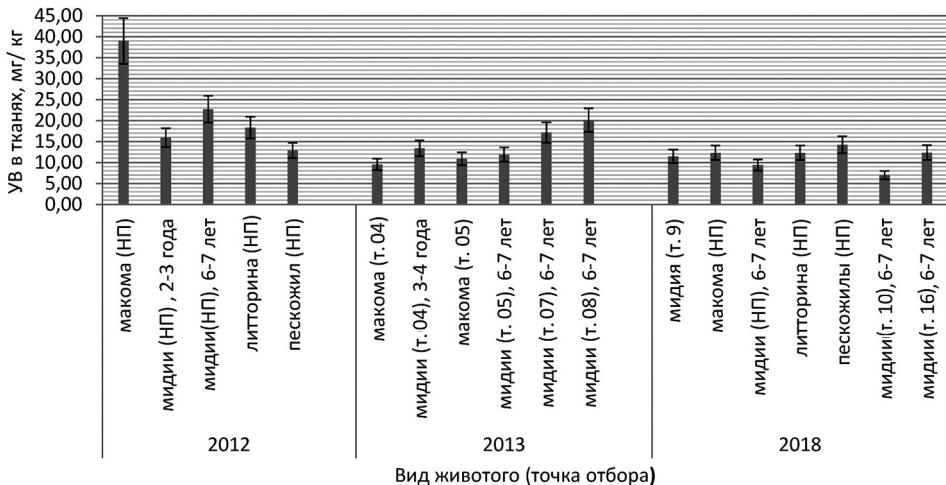


Рис. 4. Содержание общих нефтепродуктов в тканях доминирующих видов бентосных организмов Онежского залива Белого моря, мг/кг влажной массы

Fig. 4. The content of total petroleum products in the tissues of the dominant species of benthic organisms of the Onega Bay of the White Sea, mg/kg wet weight

и илистые грунты сублиторали [13]. При дальнейших исследованиях уровень УВ в тканях этого моллюска, взятого в той же точке отбора, снизился до  $10,88 \pm 1,52$  и  $12,33 \pm 1,73$  мг/кг в 2013 и 2018 гг. соответственно.

Для многощетинкового червя — пескожила содержание УВ в тканях за период исследования осталось практически неизменным —  $12,88 \pm 1,80$  мг/кг в 2012 г. и  $14,25 \pm 1,99$  мг/кг в 2018 г., в одной и той же точке отбора. Среда обитания пескожила в месте исследования — плотные песчаные отмели в зоне приливо-отливных воздействий, на которых нефть, как правило, не задерживается [14]. Содержание УВ в брюхономом моллюске литторина составляет  $18,34 \pm 2,56$  мг/кг и  $12,30 \pm 2,00$  мг/кг в 2012 и 2018 гг. соответственно.

Так как мидии были собраны по всему исследованному участку, во все периоды отбора собранные пробы мидий мы рассмотрим как отдельные выборки, см. рис. 5.

Мидии при оценке воздействия загрязнений на окружающую среду используют наиболее часто, так как они соответствуют основным критериям для организма-монитора: легки в сборе, колонии занимают обширные пространства, дают достаточное количества материала для анализа и, являясь организмами-фильтраторами, накапливают в своих тканях загрязняющие вещества в количествах, иногда на порядок выше, чем в среде обитания, что более удобно для инструментальных анализов [14, 15, 16].

Максимальное содержание УВ в тканях двустворчатого моллюска — мидии было зафиксировано в 2012 г. и составляло 22,73 мг/кг для 6–7-летних мидий, в дальнейшем содержание данного показателя в тканях снизилось — медиана концентрации составила 15,27 мг/кг и 10,43 мг/кг в 2013 и 2018 гг. соответственно (см. рис. 5).

Для оценки процесса накопления УВ в тканях мидии мы провели непараметрический тест Манна–Уитни, показавший достоверные различия между уровнями накопления УВ тканями в 2013 и 2018 гг., при уровне значимости  $\geq 0,05$ , что говорит о достоверном снижении УВ в тканях моллюсков с 2013 по 2018 г.

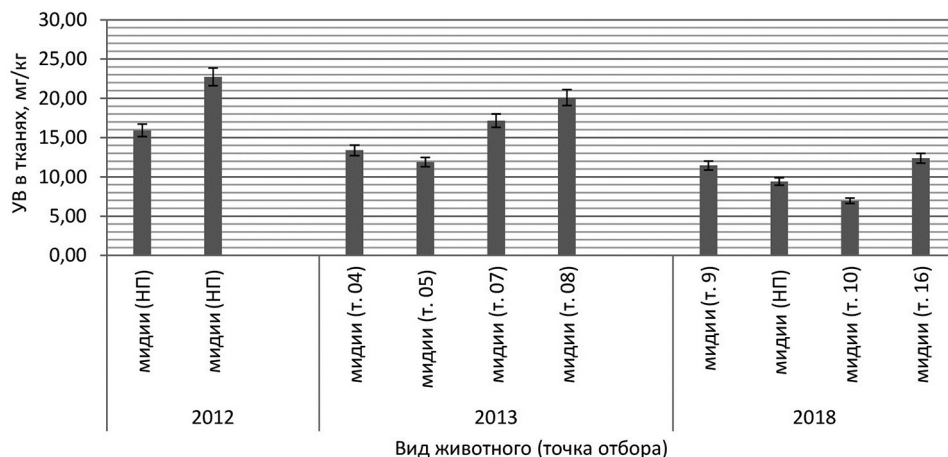


Рис. 5. Содержание массовой доли УВ в пробах тканей двустворчатых моллюсков — мидии в разные годы исследований

Fig. 5. The content of the mass fraction of HC in sample tissue of bivalves mussels in different years of research

Для оценки пролонгированного воздействия разлива мазута на экосистему литоральной зоны мыса Глубокий Онежского залива одновременно с пробами гидробионтов мы отбирали пробы воды и донных отложений, см. рис. 1б. В 2018 г. содержание массовой доли УВ во всех пробах воды не превышало ПДК для рыбохозяйственных водоемов (ПДК рыб. хоз.) — 0,05 мг/м<sup>3</sup> и составляло 0,017 мг/м<sup>3</sup> в период полной воды и 0,019 мг/м<sup>3</sup> в период малой воды.

Донные отложения в 2018 г. были отобраны по всему изучаемому участку (рис. 1б), в тех же точках отбора, что и донные организмы, и представляли собой пассамиты (пески крупные, средние и мелкие). Концентрация УВ в донных отложениях в 2018 г. характеризовалась диапазоном от 1,41 мг/кг до 9,02 мг/кг, медиана 1,41 мг/кг. Согласно принятым нормам [17] все отобранные донные отложения можно отнести к незагрязненным.

Ранее, в 2012 и 2013 гг., в отдельных точках нами фиксировалось превышение ПДК УВ для морских вод, а концентрации УВ во всех отобранных донных отложениях, как и в 2018 г., были ниже 50 мг/кг [18].

В 2012 г., несмотря на то, что с момента аварийного разлива прошло 9 лет, нами были зафиксированы высокие, по сравнению с фоновыми, концентрации УВ в двустворчатых моллюсках. Это связано прежде всего со свойствами мазута, попавшего в воду в связи с аварией, климатическими и гидрометеорологическими условиями исследуемой акватории, особенностями физиологии моллюсков. Попавший в морскую воду топочный мазут марки М-100 принадлежит к числу наиболее тяжелых видов топлива, для которых характерна высокая вязкость, плотность мазута данной марки — 1,015 г/см<sup>3</sup>, температура застывания — 25 °С [19].

Из-за низких температур окружающей среды и физических свойств мазута М-100 не произошло растекания по поверхности и растворения нефтепродуктов в толще воды, что способствовало бы быстрому очищению экосистемы за счет биологических процессов (биодеструкции) [4, 14]. Аварийный разлив произошел при температурах воды 10–11 °С, и основная масса мазута в застывшем состоянии опустилась на дно, где впоследствии была разнесена сильными осенними штормами по акватории и частью была выброшена на берег.

Долгосрочные исследования, проведенные после разливов нефти, показывают, что эти смоляные комки (tarballs) и смоляные маты (tarmats) могут быть удивительно стойкими в окружающей среде. Например, выбросы остаточной нефти от аварии нефтяной платформы Ixtoc I в 1979 г. в Мексиканском заливе по прошествии 30 лет все еще можно найти у берегов Мексики [21–23].

В нашем исследовании выбросы смоляных комков, перемешанных с песком, — мазутно-песчаных агрегатов (МПА) — наблюдались в течение всего периода исследований [18, 24]. В 2013 г. только за 6 дней с 27 июня по 6 июля на литорали было собрано МПА массой более 38 кг [18]. В летний сезон 2018 г. на литорали у м. Глубокий были собраны около 2 кг мазутно-песчаных комочков, масса самого крупного — 0,4 кг. Масса и размер обнаруженных нами на литорали кусков мазута уменьшались при сборе их в направлении с запада на восток, так как их источник находился с западной стороны от мыса Глубокий, в районе Песчано-Наволоцкой мели [5] (см. рис. 1б). В смоляных комках, выброшенных на литораль, происходила медленная трансформация УВ, о чем свидетельствуют наши исследования, представленные в работе [25], где показано, что за прошедшие после аварии 10 лет количественный и качественный состав агрегатов претерпел существенные из-



менения в результате выветривания и биodeградации и общее количество УВ в них уменьшилось, по сравнению с контрольным образцом (М-100), практически в 20–28 раз. [25].

Экологическое воздействие выветрившихся остаточных нефтей изучено гораздо меньше, чем воздействие свежей нефти на береговую линию и морскую флору и фауну [26]. Эти эффекты включают в себя физическое покрытие нефтью животных и птиц, приводящее к ухудшению теплообмена, переохлаждению и гибели, воздействие токсичных соединений в результате растворения нефти в воде и вдыхания токсичных веществ, выделяемых при испарении наиболее летучих соединений [26]. Также наблюдаются долгосрочные эффекты, из-за уменьшения кормовых баз некоторых видов, наблюдаются изменения в реакции иммунной системы животных после воздействия токсичных соединений нефти [27]. Всех этих последствий не наблюдается при пролонгированном воздействии остаточных нефтепродуктов, подвергающихся выветриванию. Специальное исследование, проведенное в 2000 г. группой экспертов, показало, что выветрившиеся остатки нефтепродуктов, в отличие от разливов свежей нефти, не представляют постоянного экологического риска для экосистемы [28].

Наши исследования показали, что, несмотря на прошедшие с момента аварии 15 лет, на дне Онежского залива в районе мыса Глубокий остаются отложения мазута, выпадающие под действием гидродинамических сил [25], что приводит к повторному переносу мазутных агрегатов на берег, особенно после сильных штормов. Однако ввиду небольшого количества выбрасываемых на литораль песчано-мазутных комочков уже не наблюдается негативного воздействия на экосистему изучаемого района.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Принимая во внимание низкие уровни содержания УВ в водной среде (менее 1 ПДК рыб. хоз.) и в донных отложениях (от 0,34 до 9,03 мг/кг, медиана 1,41 мг/кг) в 2018 г. и сравнимые с фоновыми показатели содержания УВ в тканях гидробионтов, мы можем сделать вывод о том, что спустя 15 лет после разлива топочного мазута состояние экосистемы мыса Глубокий, по показателям содержания УВ, возвращается к естественному. Продолжающиеся выбросы мазутно-песчаных комков не оказывают на экосистему негативного воздействия, ввиду незначительных объемов. На основании проведенной работы также можно сделать заключение о том, что экотоксикологические методы являются приоритетными при оценке пролонгированного (или отсроченного) аварийного воздействия тяжелых нефтепродуктов на водные экосистемы. Вывод о наличии или отсутствии негативного влияния на водную экосистему УВ, построенный исключительно на анализе абиотических компонентов, может быть недостаточно информативным, поскольку не учитывает аккумулятивный и отложенный эффекты, особенно проявляющиеся в холодных малопродуктивных арктических морях.

**Благодарности.** Авторы благодарны всем научным сотрудникам лаборатории пресноводных и морских экосистем ФИЦКИА РАН за ценные советы, обсуждение и помощь в полевых работах. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта УрО РАН № 18-9-5-29, гранта РФФИ р\_а № 17-45-290114, РФФИ № 18-05-01041.

**Acknowledgments.** The authors thank all the scientific staff of the laboratory of freshwater and marine ecosystems of VICKIE the Academy of Sciences for valuable

advice, discussion and assistance in field work. The reported study was funded by URAS, project № 18-9-5-29, RFBR projects 17-45-290114 and 18-05-01041.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологические последствия разливов нефти: Справка. URL: <https://ria.ru/eco/20090605/173349317.html> (дата обращения 20.11.2019).
2. Уроки не усвоены. Exxon Valdez – уроки катастрофы. [Электронный ресурс]. Всемирный фонд дикой природы. URL: <https://wwf.ru/upload/iblock/96d/oilspillrus.pdf> (дата обращения 20.11.2019).
3. Бамбуляк А., Францен Б. Транспортировка нефти из российской части Баренцева региона. По состоянию на январь 2005 г. Свандховт: Свандховт экологический центр, 2005. 91 с.
4. Немировская И.А. Углеводороды в океане. М: Научный мир, 2004. 328 с.
5. Андрианов В.В., Неверова Н.В., Лебедев А.А., Климов С.И., Воробьева Т.Я. Современное экологическое состояние юго-восточной части Онежского залива Белого моря после аварийного разлива мазута (01.09.2003 г.) // Современные проблемы науки и образования: электрон. научн. журн. 2017. № 6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=27194> (дата обращения 20.11.2019).
6. Иллюстрированный атлас беспозвоночных Белого моря / Под. ред. Н.Н. Марфенина. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 312 с.
7. НДИ 05.17-2009. МВИ массовой доли нефтяных углеводородов в пробах гидробионтов пресных и морских водных объектах. Ростов-на-Дону, 2009. 15 с.
8. Ларин А.А. Особенности определения и оценка накопления углеводородов в гидробионтах Азовского моря: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Краснодар.: ФГУП АЗНИИРХ, 2010. 22 с.
9. М 04-15-2009. Продукты пищевые и продовольственное сырье, биологически активные добавки. Методика выполнения измерений массовой доли бенз (а) пирена методом ВЭЖХ с флуориметрическим детектированием с использованием жидкостного хроматографа «Люмахром». СПб., 2014. 10 с.
10. Иванова С.С. Качественная и количественная характеристика бентоса Онежского залива Белого моря // Материалы по комплексному изучению Белого моря. Вып. 1. М., Л.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 355–380.
11. Дементьев Ф.А., Бельшина Ю.Н., Акимов А.Л. Исследование ароматических углеводородов в качестве идентификационных признаков нефтяного загрязнения // Вестник Санкт-Петербургского университета МЧС России. 2011. № 3. С. 31–37.
12. Алешко С.А. Действие нефтяных углеводородов на морские организмы на молекулярном уровне // Известия ТИНРО. 2007. Т. 148. С. 1–15.
13. Lehtonen K., Leiniö S., Schneider R., Leivuori M. Biomarkers of pollution effects on bivalves *Mytilus edulis* and *Macoma balthica* collected on the southern coast of Finland (Baltic sea) // Mar. Ecol. Prog. 2006. V. 322. P. 155–168.
14. Патин С.А. Нефтяные разливы и их воздействие на морскую среду и биоресурсы. М.: ВНИРО, 2008. 510 с.
15. Миронов О.Г. Взаимодействие морских организмов с нефтяными углеводами. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 176 с.
16. Миронов О.Г. Потоки нефтяных углеводородов через морские организмы // Морской экологический журнал. 2006. № 2 (5). С. 5–14.
17. Warmer H., van Dokkum R. Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice 2001. Lelystad: RIZA report, 2002. 77 p.
18. Андрианов В.В., Лебедев А.А., Неверова Н.В., Лукин Л.Р., Воробьева Т.Я., Собко Е.И., Кобелев Е.А., Лисицына Т.Ю., Самохина Л.А., Климов С.И. Долговременные последствия ава-

- рийного разлива нефтепродуктов в южной части Онежского залива Белого моря // Биология моря. 2016. Т. 42. № 3. С.169–178.
19. ГОСТ 10585-2013. Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2004. С. 10.
20. *Немировская И.А.* Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 432 с.
21. *Warnock A.M., Hagen S.C., Passeri D.L.* Marine Tar Residues: a Review // *Water, Air and Soil Pollut.* 2015. V. 226. P. 68–75. URL: <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2298-5> (дата обращения 20.11.2019).
22. *Tunnell J.W.* An expert opinion of when the Gulf of Mexico will return to pre-spill harvest status following the BP Deepwater Horizon MC 252 oil spill. URL: <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/50> (дата обращения 20.11.2019).
23. *Bernabe A.M., Fernandez-Fernandez S., Bouchett F., Rey D., Arcos A., Bayona J.M., Albaiges J.* Recurrent arrival of oil to Galician coast: The final step of the Prestige deep oil spill // *Journal of Hazardous Materials.* 2013. V. 250. P. 82–90.
24. *Андрианов В.В., Лебедев А.А., Неверова Н.В., Лисицына Т.Ю.* Исследования белухи (*Delphinapterus leucas*) южного стада Белого моря в экологическом и эволюционном аспектах // *Экологические проблемы Азово-Черноморского региона и комплексное управление биологическими ресурсами: Материалы V научно-практической молодежной конференции, Севастополь.* 2018. С. 73–77.
25. *Лебедев А.А., Лукин Л.П., Андрианов В.В.* Результаты изучения процесса самоочищения от нефтепродуктов вод Онежского залива Белого моря // *Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны. Сб. науч. трудов. Архангельск,* 2016. С. 271–277.
26. *Peterson C.H., Rice S.D., Short J.W., Esle D., Bodkin J.L., Ballache B.E., Irons D.B.* Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill // *Science.* 2003. V. 302 (5653). P. 2082–2086.
27. *Barron M.G.* Ecological impacts of the Deepwater Horizon oil spill: implications for immunotoxicity // *Toxicologic Pathology.* 2012. V. 40 (2). P. 315–320.
28. *Neff J.M., Ostazeski S., Gardiner W., Stejskal I.* Effects of weathering on the toxicity of three offshore Australian crude oils and a diesel fuel to marine animals // *Environmental Toxicology and Chemistry.* 2000. V. 19 (7). P. 1809–1821.

## REFERENCES

1. *Ekologicheskie posledstviia razlivov nefiti. Spravka.* Environmental consequences of oil spills. Reference information. Ecology. Available at: <https://ria.ru/eco/20090605/173349317.html> (accessed 20.04.2019).
2. *Uroki ne usvoeny. Exxon Valdez – uroki katastrofy.* Lessons not learned. Exxon Valdez – lessons from disaster. World wildlife Fund. Available at: <https://wwf.ru/upload/iblock/96d/oilspillrus.pdf> (accessed 20.04.2019).
3. *Bambuliak A., Frantsen B.* *Transportirovka nefiti iz rossiiskoi chasti Barentseva regiona. Po sostoianiiu na ianvar' 2005 g.* Transportation of oil from the Russian part of the Barents region. As of January 2005. Svandkhovt: Svandkhovt Ekologicheskii Tsent, 2005: 91 p. [In Russian].
4. *Nemirovskaja I.A.* *Uglevodorody v okeane.* Hydrocarbons in the ocean. Moscow: Nauchnyi mir, 2004: 328 p. [In Russian].
5. *Andrianov V.V., Neverova N.V., Lebedev A.A., Klimov S.I., Vorob'eva T.Ia.* Current ecological state of the South-Eastern part of the Onega Bay of the White sea after an emergency oil spill (01.09.2003): *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia.* 2017, 6. [In Russian]. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=27194> (accessed 20.04.2019).

6. *Illustrirovannyi atlas bespozvonochnykh Belogo moria*. Illustrated Atlas of invertebrates of the White sea / N.N. Marfenin (eds). Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2006: 312 p. [In Russian].
7. *NDI 05.17-2009. Metodika vypolneniia izmerenii. Izmerenii massovoi doli neftiannykh uglevodorodov v probakh gidrobiontov presnykh i morskikh vodnykh ob'ektakh*. Measuring the mass fraction of petroleum hydrocarbons in samples of aquatic organisms fresh and marine water bodies. Rostov-na-Donu: 2009:15 p. [In Russian].
8. *Larin A.A. Osobennosti opredeleniia i otsenka nakopleniia uglevodorodov v gidrobiontakh Azovskogo moria*. Peculiarities of definition and estimation of accumulation of hydrocarbons in the aquatic life of the sea of Azov. PhD Thesis. Krasnodar: FGUP AzNIIRKh, 2010: 22 p. [In Russian].
9. *M 04-15-2009. Metodika vypolneniia izmerenii. Produkty pishchevye i prodovol'stvennoe syr'e, biologicheski aktivnye dobavki. Metodika vypolneniia izmerenii massovoi doli benz (a) pirena metodom VEZhKh s fluorimetricheskim detektirovaniem s ispol'zovaniem zhidkostnogo khromatografa "Liumakhrom"*. Food and food raw materials, biologically active additives. Technique of execution of measurements of mass fraction of benzo (a) pyrene by HPLC method with fluorimetric detection using a liquid chromatograph "Lumigram". St. Petersburg, 2014: 10 p. [In Russian].
10. *Ivanova S.S. Materialy po kompleksnomu izucheniiu Belogo moria*. Materials on the complex study of the White sea. V. 1. Qualitative and quantitative characteristics of benthos in the Onega Bay of the White sea. Moscow: AN SSSR, 1957: 355–380. [In Russian].
11. *Dement'ev F.A., Bel'shina Iu.N., Akimov A.L* Investigation of aromatic hydrocarbons as identification signs of oil pollution. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta MChS Rossii*. Bulletin of St. Petersburg University of EMERCOM of Russia. 2011, 3: 31–37. [In Russian].
12. *Aleshko S.A.* The effect of petroleum hydrocarbons on marine organisms at the molecular level. *Izvestiia TINRO*. TINRO News. 2007, 148: 1–15. [In Russian].
13. *Lehtonen K., Leiniö S., Schneider R., Leivuori M.* Biomarkers of pollution effects on bivalves *Mytilus edulis* and *Macoma balthica* collected on the southern coast of Finland (Baltic sea). *Mar Ecol Prog*. 2006, 322: 155–168.
14. *Patin S.A. Neftianye razlivy i ikh vozdeistvie na morskuiu sredu i bioresursy*. Oil spills and their impact on the marine environment and bioresources. Moscow: VNIRO, 2008: 510 p. [In Russian].
15. *Mironov O.G. Vzaimodeistvie morskikh organizmov s neftiannyimi uglerodami*. Interaction of marine organisms with petroleum hydrocarbons. Leningrad: *Gidrometeoizdat*, 1985: 176 p. [In Russian].
16. *Mironov O.G.* Flows of petroleum hydrocarbons through Maritime organization. *Morskoi ekologicheskii zhurnal*. Marine environmental journal. 2006, 2 (5): 5–14. [In Russian].
17. *Warmer H., van Dokkum R.* Water pollution control in the Netherlands. Policy and practice 2001. Lelystad: RIZA report, 2002: 77 p.
18. *Andrianov V.V., Lebedev A.A., Neverova N.V., Lukin L.R., Vorob'eva T.Ia., Sobko E.I., Kobelev E.A., Lisitsyna T.Iu., Samokhina L.A., Klimov S.I.* Long-term consequences of oil spill in the southern part of the Onega Bay of the White sea. *Biologiya moria*. Marine biology. 2016, 3 (42):169–178. [In Russian].
19. *GOST 10585-2013 Topливо neftianoe. Mazut. Tekhnicheskie usloviia*. Fuel oil. Masut. Technical conditions Moscow: *Standartinform*, 2004: 10 p. [In Russian].
20. *Nemirovskaia I.A. Neft' v okeane (zagriaznenie i prirodnye potoki)*. Oil in the ocean (pollution and natural flows). Moscow: *Nauchnyi mir*, 2013: 432 p. [In Russian].
21. *Warnock A.M., Hagen S.C., Passeri, D.L.* Marine Tar Residues: a Review. *Water, Air and Soil Pollut.* 2015, 226: 68–75. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2298-5>.
22. *Tunnell J.W.* An expert opinion of when the Gulf of Mexico will return to pre-spill harvest status following the BP Deepwater Horizon MC 252 oil spill. Available at: <https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/50> (accessed 20.11.2019).

23. Bernabe A.M., Fernandez-Fernandez S., Bouchett F., Rey D., Arcos A., Bayona J.M., Albaiges J. Recurrent arrival of oil to Galician coast: The final step of the Prestige deep oil spill. *Journal of Hazardous Materials*. 2013, 250: 82–90.
24. Andrianov V.V., Lebedev A.A., Neverova N.V., Lisitsyna T.Iu. *Issledovaniia belukhi (Delphinapterus leucas) izuzhno stada Belogo moria v ekologicheskom i evoliutsionnom aspektakh*. Studies of Beluga whales (*Delphinapterus leucas*) of the southern White sea herd in ecological and evolutionary aspects. Environmental problems of the Azov-Black sea region and integrated management of biological resources: proceedings of the V scientific and practical youth conference. Sevastopol', 2018: 73–77. [In Russian].
25. Lebedev A.A., Lukin L.R., Andrianov V.V. *Rezultaty izucheniia protsessy samoochishcheniia ot nefteproduktov vod Onezhskogo zaliva Belogo moria. (Prirodnye resursy i kompleksnoe osvoenie pribrezhnykh raionov Arkticheskoi zony)*. The results of the study of the process of self-purification from oil waters of the Onega Bay of the White sea. *Natural resources and integrated coastal development in the Arctic*. Arkhangelsk, 2016: 271–277. [In Russian].
26. Peterson C.H., Rice S.D., Short J.W., Esle D., Bodkin J.L., Ballache B.E., Irons D.B. Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez oil spill. *Science*. 2003, 302 (5653): 2082–2086.
27. Barron M.G. Ecological impacts of the Deepwater Horizon oil spill: implications for immunotoxicity. *Toxicologic Pathology*. 2012, 40 (2): 315–320.
28. Neff J.M., Ostazeski S., Gardiner W., Stejskal I. Effects of weathering on the toxicity of three offshore Australian crude oils and a diesel fuel to marine animals. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2000, 19 (7): 1809–1821.