

НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ В РАЙОНЕ ГОРОДА НОВОРОССИЙСКА И КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА: МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА И ОЦЕНКА СПОСОБНОСТИ К САМООЧИЩЕНИЮ

Кузнецов А.Н., Кузнецова Е.В.

*Южный федеральный университет,
Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, д. 105/42,
e-mail: ankuznecov@sfedu.ru*

Статья поступила в редакцию 09.01.2021, одобрена к печати 24.03.2021.

В работе рассматриваются результаты двенадцатилетних (2007–2019 гг.) наблюдений за пространственным распределением и изменениями во времени содержания нефтяных компонентов в прибрежных водах и донных отложениях, количества и состава нефтяных агрегатов и сликов на пляжах, клифах и берегозащитных сооружениях побережья Черного моря в районе г. Новороссийска – крупнейшего морского порта России, а также в Керченском проливе. Отобрано и проанализировано 165 проб морской воды, 24 колонки донных и береговых отложений мощностью до 50 см, разделенные на 108 проб, 246 образцов нефтяных агрегатов и сликов. Анализ проб выполнялся с использованием колоночной и тонкослойной хроматографии, оптических и гравиметрических методов. Представлены данные, свидетельствующие о высоком уровне и хроническом характере нефтяного загрязнения рассматриваемых районов береговой зоны. Особое внимание уделено динамике естественной трансформации нефтяных агрегатов и сликов, обнаруженных на побережье. Показано, что со временем, под действием процессов выветривания, на загрязненных побережьях происходит экспоненциальное уменьшение соотношения между содержанием относительно лабильных углеводородов и консервативных смолистых компонентов в их составе. Скорость этого процесса может варьироваться в достаточно широких пределах в зависимости от размеров следов нефтяного загрязнения, их положения на профиле береговой зоны, а также климатических, гидрологических и геоморфологических условий. Разработана эмпирико-статистическая модель, позволившая на основе сведений о параметрах окружающей среды, влияющих на скорость естественной трансформации нефтяного загрязнения, ранжировать и картографировать побережья по их способности к самоочищению.

Ключевые слова: Черное море, Керченский пролив, Цемесская бухта, береговая зона, нефтяное загрязнение, углеводороды, смолы, асфальтены, трансформация

Введение

Российский сектор Азово-Черноморского бассейна выделяется ключевым географическим положением на пути важнейших экспортных потоков нефти и продуктов ее переработки. Через черноморские и азовские порты России ежегодно осуществляется транзит более 150 млн т нефти и нефтепродуктов, в т.ч. две трети – через торговый порт г. Новороссийска, ежегодно обслуживающий более 5 тыс. судов и являющийся крупнейшим морским портом России (Грузооборот морских портов..., 2020; Консолидированный грузооборот ..., 2020). Крупнейшими морскими нефтяными портовыми комплексами г. Новороссийска являются терминал Транснефти в пос. Шесхарис на восточном берегу Цемесской (Новороссийской) бухты и терминал Каспийского трубопроводного консорциума (КТК) в пос. Южная Озереевка. В портах Керченского пролива и непосредственно в его акватории свыше 10 млн т нефтепродуктов ежегодно перегружается с малых танкеров класса река–море на океанические суда для отправки на экспорт через Черное и Средиземное моря.

Портовые операции и проходящие суда эпизодически становятся причинами небольших нефтяных разливов или попадания в окружающую среду нефтесодержащих отходов и балластных вод. Кроме того, важными источниками нефтяного загрязнения в исследуемом регионе являются промышленные и коммунально-бытовые сточные воды, плоскостной смыв, атмосферные выпадения. Это создает серьезное техногенное давление на природные комплексы, повышает риск аварий и ставит под угрозу развитие курортной инфраструктуры региона. О высоком уровне нефтяного загрязнения рассматриваемой акватории свидетельствуют результаты исследований, приведенные в работах (Ежемесячные и итоговые бюллетени..., 2006–2015; Бедрицкий и др., 2007; Кузнецов и др., 2013; Кузнецов, Федоров, 2014; Немировская, Лисицын, 2015; Немировская и др., 2015; Матишов и др., 2016; Немировская и др., 2020). Крупнейшая для региона нефтяная катастрофа произошла 11 ноября 2007 г. в акватории Керченского пролива: сильный шторм разметал и затопил многочисленные суда класса река–море, стоявшие на рейде в южной части пролива, был поврежден танкер «Волгонефть-123», разломился надвое и затонул танкер «Волгонефть-139», в воду попало около 1.3 тыс. т мазута (Оценка загрязнения морской среды..., 2009; Кузнецов, Федоров, 2010; Кленкин, Агапов, 2011; Матишов и др., 2013).

Цель настоящего исследования – проанализировать результаты многолетних наблюдений за изменением содержания нефтяных компонентов в прибрежных водах и донных отложениях, количества, свойств и состава нефтяных агрегатов и сликов на берегу Черного моря в районах деятельности морских нефтяных терминалов и интенсивного судоходства: в Цемесской бухте, Керченском проливе и на сопредельных участках побережья, а также оценить скорость естественной трансформации нефтяного загрязнения, ее зависимость от природных факторов, и на этой основе ранжировать и картографировать побережья по их способности к самоочищению.

Материалы и методы

В основу работы положены результаты натуральных наблюдений и лабораторных исследований, проведенных в период 2007–2019 гг. на черноморских и азовских побережьях в районах г. Новороссийска и Керченского пролива (рис. 1). Программа исследований включала визуальную оценку уровня нефтяного загрязнения береговой зоны, отбор проб воды и донных отложений, отбор, визуальное и органолептическое описание образцов нефтяных агрегатов и покрытых сликками обломков горных пород и отложений, обнаруженных на берегу, гидрометеорологические наблюдения. Пробы воды отбирались непосредственно в стеклянную бутылку емкостью 1 л с берега или батометром с маломерного судна или пирса и консервировались тетрахлорметаном. Колонки донных отложений извлекались с помощью ударной грунтовой трубки конструкции ГОИН длиной 1 м с послойным опробованием. В Керченском проливе (Тузлинская коса и дамба, основание косы Чушка) работы выполнялись в декабре 2007 г. (т.е. через 40 дней после упомянутой выше серии кораблекрушений), августе–сентябре 2008–2010 гг., январе, мае, августе–сентябре и ноябре 2011 г., июне 2012 и 2013 гг., августе–сентябре 2014 г., июле 2016 и 2019 гг. В районе г. Новороссийска наблюдения проводились в то же время, что и в Керченском проливе, за исключением 2007 г., когда они выполнялись в августе. В общей сложности за 12-летний период наблюдений было отобрано и проанализировано 165 проб морской воды, 24 колонки донных и береговых отложений мощностью до 50 см, разделенных на 108 проб, 246 образцов нефтяных агрегатов и сликков.

Анализ проб выполнялся в Гидрохимическом институте Росгидромета с помощью аттестованного комплекса методов (Страдомская и др., 2007; Никаноров,



Рис. 1. Схема расположения станций наблюдений и отбора проб

Страдомская, 2008; Страдомская, Рязанцева, 2010), включающих колоночную и тонкослойную хроматографию, оптические и гравиметрические методы, которые позволяют разделять содержание трех групп компонентов нефти: 1) алифатических, алициклических, моно- и диароматических углеводородов (*УВ*), 2) 3–5-ядерных ароматических углеводородов (*ПАУ*), 3) смолистых компонентов (*СК*) – смол и асфальтенов, а также идентифицировать среди них присутствие продуктов современного биологического происхождения. Кроме того, в пробах донных отложений гамма-спектрометрическим методом определялась активность радиоизотопов ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{210}Pb и ^{226}Ra для их последующей датировки (Федоров и др., 2008).

Данные об изменении состава нефтяных агрегатов и сликов на рассматриваемых участках береговой зоны совместно с полученными ранее аналогичными данными для районов крупных нефтяных разливов на северо-западе Франции и Испании (Kuznetsov et al., 2018, 2019) были подвергнуты множественному регрессионному анализу в среде Statsoft Statistica с применением алгоритма Левенберга – Марквардта (Levenberg, 1944; Marquardt, 1963) для получения эмпирико-статистической модели, описывающей влияние параметров окружающей среды (солнечного излучения, температуры воздуха, температуры и солености морской воды, волноприбойной деятельности, обеспеченности более высокого стояния уровня воды по отношению к месту отбора пробы) на скорость естественной трансформации нефтяного загрязнения и последующего картографирования побережий по их потенциальной способности к самоочищению. В анализ были включены только пробы нефтяных агрегатов и сликов, которые удалось объединить в кластеры по сходству состава, свойств и идентифицировать с конкретными нефтяными разливами. Из числа проб, отобранных на побережьях Черного моря в районе г. Новороссийска и Керченского пролива, таких оказалось 166, в т.ч. 148 были идентифицированы с мазутом танкера «Волгонепфть-139», разлившимся в ноябре 2007 г.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований свидетельствуют о значительных пространственных и временных изменениях содержания *УВ* в исследуемых прибрежных водах. Наибольшие значения фиксировались во внутренней части Цемесской бухты (до 0.88 мг/дм^3), где сосредоточена основная часть грузовых терминалов, и в районе морского терминала Каспийского трубопроводного консорциума (до 0.74 мг/дм^3) в 2007 и 2019 гг. (табл. 1).

В первые дни после аварии в Керченском проливе в ноябре 2007 г. сообщалось об очень высоком содержании нефтяных компонентов в морской воде: до 2.5 мг/дм^3 в судоходном канале между Крымским полуостровом и косой Чушка и даже до 707 мг/дм^3 вблизи побережья у пос. Кучугуры (Оценка загрязнения морской среды..., 2009; Кленкин, Агапов, 2011). Такие значения, по всей видимости,

Таблица 1. Содержание УВ в прибрежных водах Черного моря в районе г. Новороссийска и Керченского пролива в период с 2007 по 2019 гг.

Даты отбора проб	Новороссийский район		Керченский пролив	
	Кол-во проб	Концентрации*, мг/дм ³	Кол-во проб	Концентрации*, мг/дм ³
29.08.2007 – 08.09.2007	6	<u>0.39–0.74</u> 0.61	–	–
19.12.2007 – 20.12.2007	–	–	4	<u>0.19–0.22</u> 0.20
07.08.2008 – 27.08.2008	9	<u>0.33–0.50</u> 0.41	9	<u>0.34–0.60</u> 0.43
29.08.2009 – 10.09.2009	10	<u>0.14–0.33</u> 0.25	3	<u>0.24–0.41</u> 0.36
29.08.2010 – 08.09.2010	7	<u>0.14–0.31</u> 0.23	5	<u>0.21–0.33</u> 0.25
05.01.2011 – 06.01.2011	5	<u>0.00–0.13</u> 0.08	5	<u>0.04–0.28</u> 0.16
15.05.2011 – 16.05.2011	5	<u>0.02–0.13</u> 0.08	5	<u>0.03–0.41</u> 0.16
31.08.2011 – 05.09.2011	10	<u>0.00–0.34</u> 0.06	8	<u>0.00–0.05</u> 0.02
04.11.2011 – 05.11.2011	5	<u>0.00–0.06</u> 0.03	5	<u>0.02–0.23</u> 0.09
22.06.2012 – 24.06.2012	7	<u>0.00–0.06</u> 0.01	8	<u>0.00–0.11</u> 0.02
24.06.2013 – 29.06.2013	8	<u>0.01–0.04</u> 0.02	6	<u>0.01–0.32</u> 0.08
06.09.2014 – 08.09.2014	7	<u>0.01–0.11</u> 0.07	6	<u>0.04–0.11</u> 0.07
30.07.2016 – 31.07.2016	5	<u>0.07–0.17</u> 0.11	6	<u>0.09–0.14</u> 0.11
24.07.2019 – 25.07.2019	5	<u>0.07–0.88</u> 0.46	6	<u>0.01–0.13</u> 0.04

* В числителе – диапазоны наблюдавшихся концентраций, в знаменателе – средние значения.

обусловлены активным диспергированием нефтепродукта в условиях штормовой погоды без его перехода в растворенное состояние, ведь мазут является очень вязким и содержит минимальную долю водорастворимых компонентов. Поэтому по мере затухания шторма и аккумуляции поллютанта на берегу к середине декабря 2007 г., когда мы произвели первый после аварии отбор проб, его концентрации упали до 0.19–0.22 мг/дм³. В очищении воды от мазута, безусловно, важную роль сыграли природные сорбенты, такие как взвешенные частицы, водные растения-макрофиты, друзы мидий, которые в больших количествах фиксировались в составе сликов, выброшенных на берег.

Впрочем, в августе 2008 г. и в последующие два летних сезона был выявлен рост концентраций УВ в прибрежных водах Керченского пролива (до 0.60 мг/дм³). В условиях более высоких температур этот эффект может быть вызван активизацией естественной деструкции мазута, который, несмотря на проведенные очистные

мероприятия, сохранился на ряде труднодоступных для техники участков побережья и на Тузлинской дамбе. При этом в воду могли поступать и растворяться в ней более легкие побочные продукты процесса деструкции. К 2011 г. содержание $УВ$ в морской воде Керченского пролива вернулось к фоновому уровню $0.10\text{--}0.20$ мг/дм³, наблюдавшемуся до аварии (Кузнецов, Федоров, 2014).

За двенадцатилетний период наблюдений в районе Новороссийска и в Керченском проливе средние концентрации $УВ$ в морской воде снизились с $0.4\text{--}0.6$ мг/дм³ в 2007 г. до менее 0.05 мг/дм³ в 2012 г. Затем тенденция сменилась ростом, особенно в Цемесской бухте. Эти колебания могут быть обусловлены как природными, так и антропогенными факторами. В частности, с начала наблюдений в 2007 г. динамика среднего содержания $УВ$ в морской воде и годового грузооборота морских торговых портов демонстрирует довольно тесную корреляцию, особенно в районе г. Новороссийска, с их минимумом в 2012–2013 гг. (грузооборот $113\text{--}117$ млн т в год в Новороссийском порту, $174\text{--}177$ млн т в год в торговых портах Азово-Черноморского бассейна в целом, содержание $УВ$ в летние месяцы в прибрежных водах Новороссийского района – $0.00\text{--}0.06$ мг/дм³, Керченского пролива – $0.00\text{--}0.32$ мг/дм³) и максимумом в 2019 г. (грузооборот 157 и 258 млн т соответственно, содержание $УВ$ – $0.07\text{--}0.88$ мг/дм³ и $0.01\text{--}0.13$ мг/дм³ соответственно). Прослеживается некоторая связь и с годовыми суммами атмосферных осадков: для периода до 2012 г. с количеством осадков, превышающим климатическую норму и обеспечивающим активное орошение водосборной площади и смыв загрязняющих веществ, были характерны более высокие концентрации $УВ$ в прибрежных водах, чем для относительно сухих 2013–2017 гг. Также в июле 2019 г. на уровень загрязнения воды Цемесской бухты могла повлиять авария автоцистерны, произошедшая в г. Новороссийске полутора месяцами ранее и вызвавшая разлив 1.5 т мазута вблизи береговой линии, загрязнение дождевой канализации и морской воды, особенно после июльских ливней. Такие аварии регулярно случаются в этом районе на берегу или в акватории.

Обратим внимание, что осредненные концентрации нефтяных $УВ$, приводимые за этот же период времени в ежегодниках Государственного океанографического института (Качество морских вод..., 2019) как для района Анапа – Туапсе, так и для Керченского пролива, существенно ниже наблюдавшихся нами: $0.01\text{--}0.05$ мг/дм³. Эти различия могут объясняться неодинаковым расположением станций наблюдений, а также тем, что в нашем исследовании пробы отбирались с берега или с лодки недалеко от берега, где концентрации загрязняющих веществ обычно выше. В то же время общая тенденция снижения уровня содержания $УВ$ к 2012 г. и их роста в последующие годы, выявленная в настоящем исследовании, данными Государственного океанографического института подтверждается.

Необходимо иметь в виду, что уровень нефтяного загрязнения береговой зоны может меняться не только вследствие поступления вредных веществ, но и по причине их перераспределения и переноса в шельфовых водах под действием природных факторов, прежде всего, гидрометеорологических. Например, в конце авгу-

ста – начале сентября 2007 г., когда нами фиксировались высокие концентрации нефтяных компонентов в прибрежных водах, в районе наблюдений господствовала антициклоническая погода с преобладанием северо-восточных ветров умеренной силы (5–8 м/с, в отдельные дни до 12 м/с). В этих условиях, согласно данным Центра космической метеорологии «Планета» (Ежемесячные и итоговые бюллетени..., 2006–2015), прибрежная ветвь Основного черноморского течения усилилась и подошла к берегу на расстояние примерно 10–15 км, прижимая загрязненные прибрежные воды к берегу, перемещая их во вдольбереговом направлении и способствуя росту концентраций в береговой зоне. Напротив, для августа–сентября 2009 и 2010 гг., а также для июня 2013 г., было характерно преобладание слабых, неустойчивых ветров, приводящих к ослаблению и отдалению от берега Основного черноморского циклонического течения и активизации прибрежных антициклонических вихрей. При этом область распространения загрязненных прибрежных вод значительно расширяется в сторону открытого моря, а у берега концентрации загрязняющих веществ снижаются. Также в августе–сентябре 2009 и 2010 гг. и в июне 2012 г. отдельные штормовые возмущения, обусловленные усилением северо-восточного и северного ветра, способствовали выносу загрязнений в открытое море за счет снижения устойчивости основного черноморского циклонического течения и активизации кросс-шельфовых течений.

Сезонные наблюдения показывают, что зимой и весной, когда в рассматриваемом регионе выпадает большая часть атмосферных осадков, увеличивается смыв загрязняющих веществ с водосборных площадей. А также вслед за температурой снижается скорость бактериальной деструкции органических веществ. Концентрации *УВ* в морской воде, как правило, выше, чем в другие сезоны. К августу–сентябрю содержание *УВ* также имеет тенденцию к росту из-за туристического давления, с одной стороны, и биосинтеза водорослей, с другой. Однако активные процессы биохимической трансформации сдерживают рост содержания *УВ* летом.

Особый интерес представляет изучение распределения содержания нефтяных компонентов в толще донных отложений как депонирующей среде, способной аккумулировать загрязняющие вещества и снижать скорость их естественной деструкции, сохраняя память об уровне загрязнения природных комплексов за многолетний период. Результаты послойного обследования четырех колонок донных отложений мощностью 15–20 см, отобранных вблизи выносных причальных терминалов КТК в пос. Южная Озереевка с глубин 45–50 м, и трех колонок мощностью 15–40 см, извлеченных по фарватеру Керченского пролива с глубин 4–8 м, свидетельствуют о сравнительно низком уровне их загрязнения: во всех пробах, за исключением двух, суммарные концентрации нефтяных компонентов не превышали 0.15 мг/г сухой массы (рис. 2). Причем во всех пробах в составе *УВ* отмечено преобладание продуктов современного биосинтеза. На это указывает молочно-голубая люминесценция тонкослойных хроматографических пластинок с нанесенным на них экстрактом в ультрафиолетовом свете.

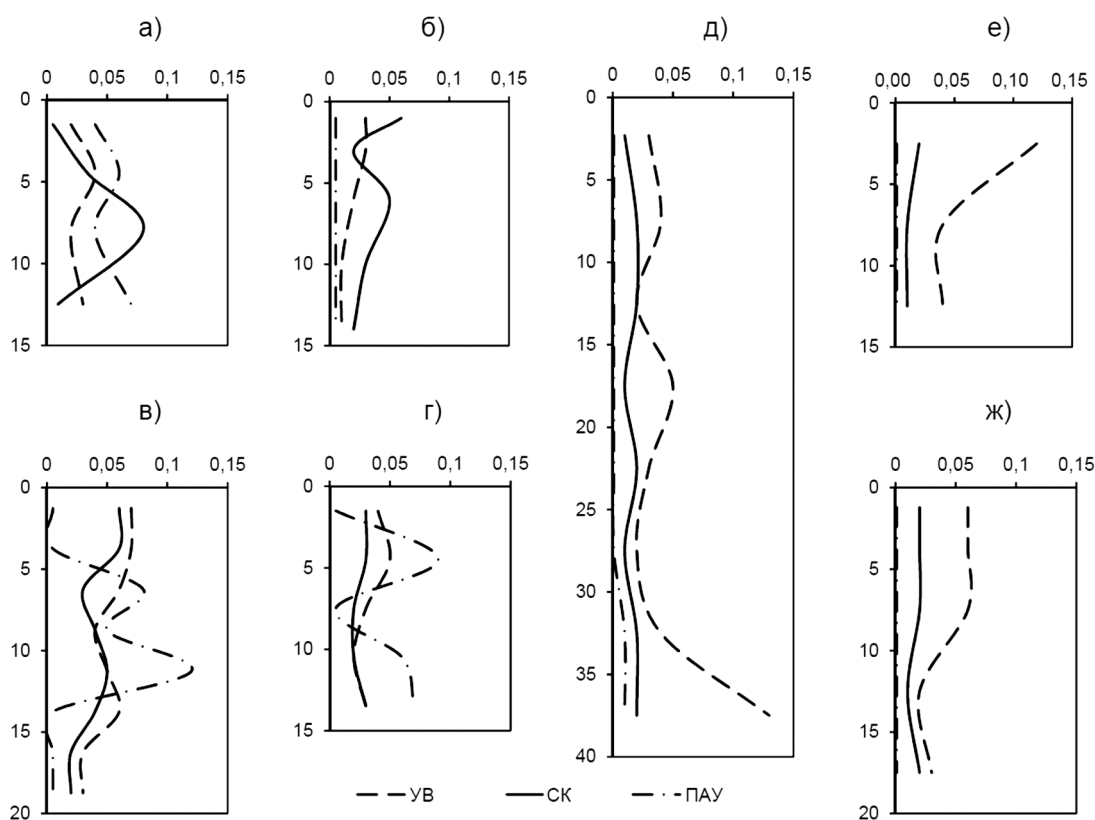


Рис. 2. Вертикальное распределение содержания углеводородов (*УВ*, мг/г сухой массы), смолистых компонентов (*СК*, мг/г сухой массы, в колонке (**а**) – $n \cdot 10$ мг/г сухой массы) и полициклических ароматических углеводородов (*ПАУ*, мкг/г сухой массы) в колонках донных отложений, отобранных на шельфе Черного моря вблизи выносных причальных терминалов КТК в пос. Южная Озереевка (**а**, **б**, **в**, **г**) и по фарватеру Керченского пролива (**д**, **е**, **ж**). По оси абсцисс отложены концентрации, по оси ординат – глубины залегания опробованных слоев в толще донных отложений (см)

Столь невысокий уровень содержания нефтяных компонентов в донных отложениях в районах проведения портовых операций и интенсивного судоходства может быть обусловлен низкой сорбционной способностью слагающих дно песчано-ракушечных и песчано-илистых отложений, а также значительными глубинами отбора проб в районе г. Новороссийска и сильными придонными течениями в Керченском проливе. Отсутствие в донных отложениях Керченского пролива заметных следов мазута, разлившегося в ноябре 2007 г., свидетельствует о том, что поллютант, изначально имея меньшую плотность по сравнению с водой, в условиях относительно небольшой замкнутой акватории с изрезанной береговой линией в течение нескольких дней практически весь был выброшен на побережье, не успев изменить свою плотность вследствие выветривания и опуститься на дно.

Полученные нами сведения хорошо согласуются с результатами водолазного обследования и отбора проб поверхностного слоя донных отложений, которые были выполнены Институтом океанологии РАН в феврале–марте и июле 2008 г. в

восточной части Керченского пролива и в Таманском заливе, а также Институтом географии РАН и представителями ЮНЕП в июле–августе 2008 г. в западной части пролива. В ходе этих работ также не удалось обнаружить следы разлившегося мазута в донных отложениях, за исключением непосредственно места затопления носовой части танкера «Волгонефть-139» и единичных случаев в Таманском заливе (Oil Spill in the Kerch Strait..., 2008; Оценка загрязнения морской среды..., 2009).

Лишь в одной колонке, отобранной в начале сентября 2009 г. в 3 км к северо-востоку от выносных причальных терминалов КТК в пос. Южная Озереевка, в слоях 3–6 см и 6–10 см, залегающих под поверхностным слоем ракуши и представленных илистым материалом, было отмечено очень высокое содержание смолистых компонентов (0.34 и 0.80 мг/г сухой массы соответственно) (рис. 2а). Впрочем, нет оснований связывать эти данные с деятельностью близлежащего терминала или каких-либо других современных источников. Датировка проб по данным об удельной активности радиоизотопов ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{210}Pb и ^{226}Ra , а также современным скоростям осаждения взвешенных частиц, установленным с помощью седиментационных ловушек (Денисов и др., 2011), свидетельствует о том, что речь идет о слоях донных отложений, сформировавшихся между 1930 и 1985 гг. Возможность столь значительной вариации содержания нефтяных компонентов в донных отложениях российского шельфа Черного моря находит подтверждение в работах Азово-Черноморского филиала ВНИРО (АзНИИРХ) (Кленкин, Агапов, 2011).

Кроме того, в некоторых колонках, извлеченных из песчаных пляжей косы Чушка в декабре 2007 г., августе 2008 г. и августе 2009 г., т.е. в течение первых двух лет после крушения танкера «Волгонефть-139», фиксировались пропитанные нефтепродуктом слои песка с общим содержанием нефтяных компонентов от 4.41 до 351 мг/г сухой массы. Однако в большинстве образцов их концентрации не превышали 0.23 мг/г сухой массы.

Одной из форм нефтяного загрязнения береговой зоны являются нефтяные слики и агрегаты, выбрасываемые на побережье. При проведении режимных наблюдений им обычно не придают такого значения, как содержанию нефтяных компонентов в водной толще и донных отложениях. В то же время, ранее нами было показано, что деструкция следов нефтяного загрязнения, скопившихся на берегу, сопровождается выделением в окружающую среду легких водорастворимых компонентов (Кузнецов, Федоров, 2010). Кроме того, во время штормов может происходить ремобилизация сликов. Эти процессы способны существенно повлиять на уровень загрязнения прибрежных вод.

В ходе выполненных наблюдений на галечных и гравийных пляжах, скалистых абразионных террасах и утесах, блоках скальных пород берегозащитных сооружений регулярно фиксировались многочисленные, различающиеся по составу и свойствам, следы нефтяного загрязнения в виде корок, пленок, брызг, потеков, а также нефтяных агрегатов различной формы и размеров, нередко содержащих минеральные частицы, обломки раковин моллюсков и растительные остатки.

Наиболее часто они встречались на блоках известняка Тузлинской дамбы (до того, как в 2014 г. она была вовлечена в строительство Крымского моста) и берегозащитных сооружений у основания косы Чушка в Керченском проливе, сильно загрязненных мазутом с танкера «Волгонефть-139» в ноябре 2007 г., а также на галечных пляжах Суджукской косы, расположенной у входа в Цемесскую бухту, напротив морского нефтяного терминала в пос. Шесхарис. На пляжах, прилегающих к базам отдыха, и центральных пляжах населенных пунктов, где регулярно проводится очистка и подсыпка пляжевого материала, они, как правило, отмечались единично или визуально отсутствовали.

Основная часть нефтяных агрегатов и сликов выбрасывается на берег штормами: во время наблюдений, проводившихся после дней с грозами, сильным ветром и волнением, удавалось обнаружить значительно больше следов загрязнения, в особенности крупных размеров (десятки сантиметров в диаметре), чем в спокойную погоду. Чаще всего нефтяные агрегаты и слики встречались на расстоянии 10–15 м от уреза воды, куда они, видимо, были заброшены во время сильного прибоя и затем прилипли к скальному субстрату или гальке и подсохли. Непосредственно у уреза воды, в наиболее подвижной волноприбойной зоне, следы нефтяного загрязнения фиксировались крайне редко. Очевидно, они не закрепляются здесь и легко смываются обратно в море.

Органолептические свойства и состав собранных нефтяных агрегатов и сликов указывают на различную степень их трансформации и, как следствие, хронический характер загрязнения. Выветрелые образцы состоят, в основном, из устойчивых к биохимическим преобразованиям смолистых соединений (смол и асфальтенов). Напротив, в составе «свежих» сликов преобладают алифатические и алициклические *УВ*. Дело в том, что с течением времени под действием факторов окружающей среды состав нефти и нефтепродуктов закономерно изменяется. При этом соотношение между *УВ*, которые можно считать относительно лабильными компонентами нефти, и более консервативными смолисто-асфальтеновыми веществами смещается в пользу последних в силу их низкой миграционной способности, слабой трансформируемости микроорганизмами и склонности к образованию при окислении тех же *УВ*. В этой связи, ранее нами была высказана и теоретически обоснована идея о возможности использования соотношения между содержанием суммы *УВ* и суммы смолистых компонентов (*УВ/СК*) в качестве упрощенного показателя степени трансформации разлившейся нефти или нефтепродукта (Федоров и др., 2006). Важным достоинством этого показателя, в отличие от массы или массовой концентрации, является его независимость от переноса, разбавления и других механических процессов, не сопровождающихся деструкцией поллютанта и не имеющих прямого отношения к процессу самоочищения.

Как видно из табл. 2, среди обследованных образцов нефтяных агрегатов и сликов преобладали сильно выветрелые. Только в декабре 2007 г. и августе 2008 г. по встречаемости их опередили достаточно «свежие» образцы, внешне

отличавшиеся от наблюдавшихся ранее. Большая их часть по составу и свойствам была идентифицирована с мазутом танкера «Волгонефть-139». В последние годы во время каждого наблюдения на берегу единично фиксировались новые «свежие» следы нефтяного загрязнения, особенно в районе г. Новороссийска. К 2010–2011 гг. на рассматриваемых участках береговой линии вслед за снижением уровня загрязнения прибрежных вод встречаемость нефтяных агрегатов и сликов, в т.ч. «свежих», также существенно сократилась и в дальнейшем сильно не менялась.

Таблица 2. Встречаемость различных по степени трансформации нефтяных агрегатов и сликов на побережье Черного моря в районе г. Новороссийска и Керченского пролива

Даты отбора проб	Количество образцов разной степени трансформации (в т.ч. идентифицированных с мазутом танкера «Волгонефть-139»)					
	Район г. Новороссийска			Керченский пролив		
	«Свежие» ($VB > CK$)	Выветрелые ($VB \approx CK$)	Сильно выветрелые ($VB < CK$)	«Свежие» ($VB > CK$)	Выветрелые ($VB \approx CK$)	Сильно выветрелые ($VB < CK$)
29.08.2007 – 08.09.2007	2	3	6	–	–	–
19.12.2007 – 20.12.2007	–	–	–	10 (9)	1 (1)	1
07.08.2008 – 27.08.2008	8 (4)	2 (2)	4	4 (4)	2 (2)	1 (1)
29.08.2009 – 10.09.2009	6	4 (4)	4 (2)	0	1 (1)	6 (6)
29.08.2010 – 08.09.2010	3	4 (3)	8 (5)	1 (1)	7 (6)	2 (2)
05.01.2011 – 06.01.2011	2	1 (1)	4 (3)	0	2 (1)	4 (4)
31.08.2011 – 05.09.2011	4	2	6 (4)	0	1 (1)	14 (12)
22.06.2012 – 24.06.2012	4	3 (1)	3 (3)	2 (1)	1	17 (16)
24.06.2013 – 29.06.2013	5	6 (1)	5 (4)	0	1 (1)	11 (11)
06.09.2014 – 08.09.2014	0	1	4 (3)	2 (1)	3 (2)	8 (8)
30.07.2016 – 31.07.2016	1	0	6	0	0	7 (7)
24.07.2019 – 25.07.2019	1	3	3 (1)	1	1 (1)	8 (8)
Итого	36 (4)	29 (12)	53 (25)	20 (16)	20 (16)	79 (75)

На рис. 3 представлены данные о соотношении VB/CK в 148 пробах нефтяных агрегатов и сликов, отобранных в разное время и по составу, свойствам идентифицированных с мазутом, разлившимся вследствие крушения танкера «Волгонефть-139». Кроме того, на график, представленный на рис. 3а, были добавлены данные о соотношении VB/CK в 18 образцах неизвестного происхождения, которые по составу и свойствам, с учетом времени отбора, можно объединить в относительно однородную группу, отличную от остальных образцов. Судя по времени, когда они были впервые обнаружены, вероятно, речь идет о небольшом по масштабу нефтяном разливе, который произошел в районе г. Новороссийска в начале 2010 г.

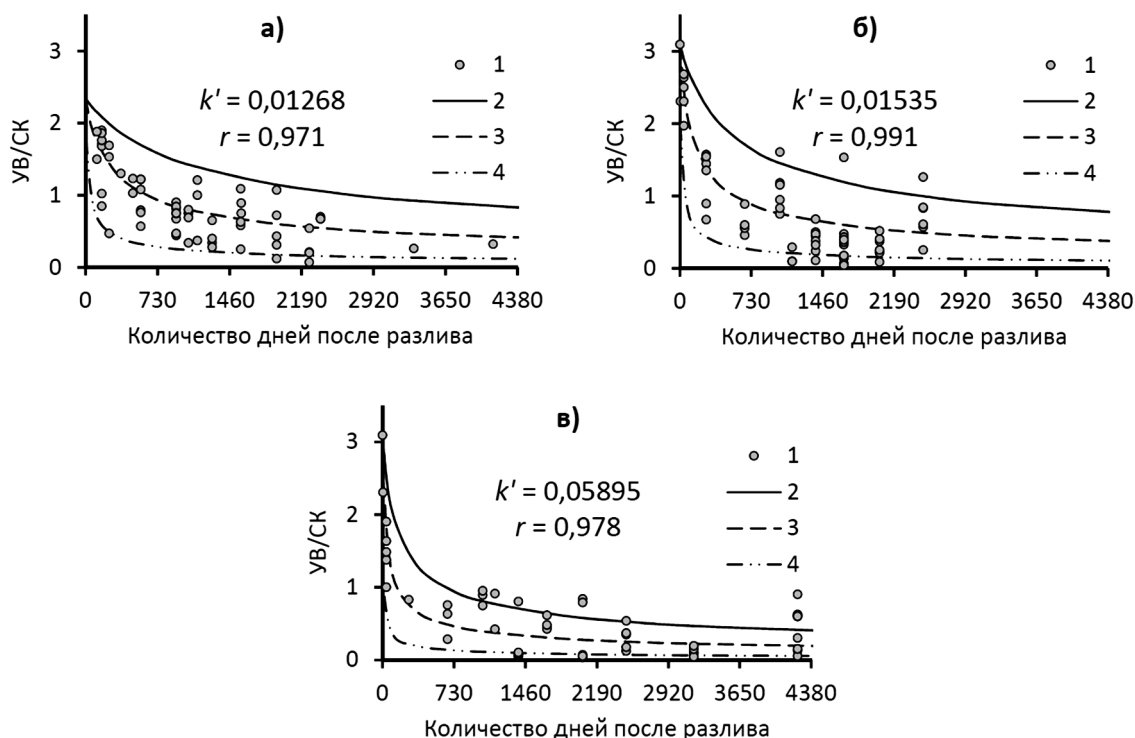


Рис. 3. Изменение соотношения UB/CK в составе нефтяных slickов с течением времени на черноморском побережье в районе г. Новороссийска (а), черноморском (б) и азовском (в) побережьях Керченского пролива: 1 – пробы slickов, 2–4 – кривые, аппроксимирующие трансформацию slickов исходной толщиной 20 мм (2) и 2 мм (3, 4) в средней (2, 3) и верхней (4) частях литоральной зоны

Близкий к экспоненциальному характер уменьшения во времени соотношения UB/CK в составе нефтяных агрегатов и slickов позволяет применить для аппроксимации этого процесса кинетическое уравнение реакции n -го порядка (1). Согласно результатам множественного регрессионного анализа данных наблюдений, в этом уравнении $n = 2.982$, а константа скорости процесса k зависит от исходной толщины slickа и его положения на профиле береговой зоны в соответствии с уравнениями (2–4):

$$(UB / CK)_t^{1-n} = (UB / CK)_0^{1-n} + (n-1)kt, \quad (1)$$

$$k = f(i)f(h_0)k', \quad (2)$$

$$f(i) = 0,948 \cdot e^{-77,4(i-0,188)^2} + 0,052, \quad (3)$$

$$f(h_0) = h_0^{-0,644} = \left(h_i e^{0,0093e^{k't}} \right)^{-0,644}, \quad (4)$$

где $(UB/CK)_0$ и $(UB/CK)_t$ – соотношение между содержанием UB и смолистых компонентов в начальный момент времени и через временной интервал t , $f(i)$ и $f(h_0)$ – функции зависимости k от обеспеченности более высокого уровня моря по

отношению к месту отбора пробы слика i на бесприливном побережье и его исходной толщины h_0 или толщины в момент отбора пробы h_p , а k' – константа скорости трансформации слика толщиной 1 мм в верхней части литорали, где функция $f(i)$ достигает максимального значения – единицы.

В свою очередь, константа k' определяется географическими условиями: климатическими, гидрологическими, геоморфологическими:

$$k' = [f(S) + f(T) + f(H) + c], \quad (5)$$

$$f(S) = 0,36011 \cdot e^{-0,0130 \cdot S^2}, \quad (6)$$

$$f(T) = 0,00301 \cdot T \cdot e^{-0,00151 \cdot T^2}, \quad (7)$$

$$f(H) = 0,06152 \cdot H, \quad (8)$$

где свободный член $c = 0,0307$, $f(S)$ – функция зависимости k' от средней многолетней солености воды (S , PSU), $f(T)$ – функция зависимости k' от средней многолетней температуры воды и (или) воздуха (T , °C) пропорционально обеспеченности более высокого уровня моря по отношению к месту отбора пробы слика i , $f(H)$ – функция зависимости k' от высоты волны 1% обеспеченности в зоне прибоя при средней многолетней скорости ветра с моря (H , м). Данные о гидрометеорологических параметрах были взяты из системы ЕСИМО (2020), а высоты волн в зоне прибоя рассчитаны согласно руководству (Руководство по расчету..., 2018) на основе характеристик ветрового режима, экспозиции и уклона побережья.

Зависимость k' от средней многолетней солености воды следует понимать более широко – как роль совокупности факторов и процессов, формирующихся под влиянием континента, таких, как обогащенный питательными веществами пресноводный сток, более высокие, по сравнению с океаническим климатом, значения продолжительности солнечного сияния, прямой и суммарной солнечной радиации, годовой амплитуды температуры воды и воздуха, количества циклов замерзания – оттаивания воды, суммы активных температур. Все эти факторы рассматривались по отдельности и были исключены из регрессионной модели ввиду их высокой парной корреляции с соленостью.

Все параметры, входящие в систему уравнений (1–8), являются статистически значимыми, они получены в результате множественного регрессионного анализа базы данных многолетних наблюдений, содержащей результаты изучения 253 проб нефтяных агрегатов и сликов, отобранных как в рассматриваемом регионе, так и за его пределами – на атлантических побережьях Франции и Испании (Kuznetsov et al., 2018, 2019). Коэффициент корреляции между наблюдавшимися и предсказанными с помощью этой модели значениями ($УВ/СК$)_{*i*} составляет 0.986.

Уравнения (5–8) были использованы для создания прогностической карты скорости естественной трансформации нефтяного загрязнения на морских побе-

режьях Азово-Черноморского бассейна по константе скорости k' (Кузнецов и др., 2020) (рис. 4). Такие карты могут быть полезны при экологическом обосновании маршрутов транспортировки нефти и нефтепродуктов, мест строительства нефтебаз и морских нефтяных терминалов в условиях продолжающегося роста спроса на продукцию нефтяной промышленности, а также для определения районов повышенного риска и приоритетной защиты, что является обязательным при разработке планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации.

Как видим, на северном побережье Керченского пролива, обращенном навстречу преобладающим ветрам и волнам, омываемом водами Азовского моря, которые характеризуются меньшей соленостью (до 12 PSU), меньшими глубинами (до 13 м) и лучшей прогреваемостью в теплое время года, большим содержанием питательных веществ, процесс распада нефтяных агрегатов и slickов протекает примерно в 3.5–4 раза активнее, чем на побережье Черного моря. Вдоль самого черноморского побережья, в отсутствие значительных перепадов температуры и солености, изменения значений k' определяются, прежде всего, вариациями гидродинамической активности. Сравнение с результатами аналогичных исследований, проводившихся нами ранее на северо-западных побережьях Франции и Испании (Kuznetsov et al., 2018, 2019), показывает, что на пляжах и клифах, омываемых более холодными и солеными водами Атлантического океана, испытывающих воздействие приливов и отливов, мазутные slickы распадаются в среднем в 1.3 раза



Рис. 4. Прогностическая карта скорости естественной трансформации нефтяного загрязнения на морских побережьях (по константе k' в уравнении (5))

медленнее, чем на побережье Черного моря, и в 5 раз медленнее, чем на азовском побережье Керченского пролива. В то же время в однотипных географических условиях ключевыми факторами, определяющим разброс скоростей деструкции нефтяного загрязнения, являются его дисперсность и положение на профиле береговой зоны. От этого зависит поверхность соприкосновения поллютанта с воздухом, морской водой и субстратом. Особенно активно трансформируются тонкие пленки нефтепродуктов в верхней части литоральной зоны.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о том, что побережье Черного моря в районе г. Новороссийска испытывает серьезное антропогенное давление, оказываемое растущими масштабами экспорта нефти и нефтепродуктов. Следствием такого воздействия являются высокие концентрации *УВ* в прибрежных водах, устойчиво превышающие величину ПДК для водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение, а также большое количество нефтяных агрегатов и сликов на пляжах, клифах и берегозащитных сооружениях. Среди последних преобладают выветрелые, однако ежегодно встречаются и достаточно «свежие» образцы. Это говорит о хроническом характере загрязнения и регулярном поступлении новых его порций.

Зимой и весной, когда в рассматриваемом регионе выпадает большая часть атмосферных осадков, увеличивается смыв загрязняющих веществ с водосборных площадей, а также вслед за температурой снижается скорость бактериальной деструкции органических веществ, концентрации *УВ* в морской воде, как правило, выше, чем в другие сезоны. К августу–сентябрю, т.е. к концу туристического сезона и сезона «цветения» микроводорослей, содержание *УВ* также имеет тенденцию к росту.

Сопоставление материалов наблюдений за разные годы свидетельствует о значительных колебаниях уровня нефтяного загрязнения береговой зоны. По сравнению с 2007–2008 гг., к 2011–2012 гг. содержание *УВ* в прибрежных водах снизилось до уровня ПДК 0.05 мг/дм³, заметно уменьшилось количество нефтяных агрегатов и сликов на берегу. Однако в последующие годы вновь наметилась тенденция роста уровня нефтяного загрязнения, особенно в районе г. Новороссийска. Эти колебания могут быть обусловлены как природными (межгодовые колебания количества атмосферных осадков, режимов циркуляции воздуха и прибрежных вод), так и антропогенными факторами. В частности, они демонстрирует довольно тесную корреляцию с годовым грузооборотом морских торговых портов региона, в особенности Новороссийского.

Процесс естественной деструкции нефтяных агрегатов и сликов, выбрасываемых на берег, выражается в близком к экспоненциальному снижении соотношения между относительно лабильными и консервативными их компонентами. Его ско-

рость определяется исходным составом следов нефтяного загрязнения, их размерами (толщиной) и положением на профиле береговой зоны, от которых зависит поверхность соприкосновения с воздухом, морской водой и субстратом, а также географическими факторами: климатическими, гидрологическими, геоморфологическими. В пределах рассматриваемого региона наибольшей потенциальной способностью к самоочищению выделяется северное побережье Керченского пролива. Оно обращено навстречу преобладающим ветрам и волнам и омывается водами Азовского моря, которые характеризуются меньшей соленостью, меньшими глубинами и лучшей прогреваемостью в теплое время года, а также большим содержанием питательных веществ.

Сохранение происходящего в настоящее время постепенного, но устойчивого роста грузопотоков углеводородного сырья в регионе может привести к дальнейшему осложнению ситуации и поставить под угрозу нормальное функционирование этой важнейшей для России рекреационной зоны.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (гранты Президента РФ МК-2574.2008.5, МК-4216.2010.5, Государственный контракт № 14.740.11.1045, государственное задание в сфере научной деятельности № 0852-2020-0029).

Литература

- Бедрицкий А.И., Асмус В.В., Кровотынцев В.А., Лаврова О.Ю., Островский А.Г.* Спутниковый мониторинг загрязнения российского сектора Черного и Азовского морей в 2003–2007 гг. // Метеорология и гидрология. 2007. № 11. С. 5–13.
- Грузооборот морских портов России за январь–декабрь 2019 г. Ассоциация морских торговых портов // <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskih-portov-rossii-za-yanvar-dekabr-2019-g> (дата обращения: 02.01.2021).
- Денисов В.И., Ткаченко Ю.Ю., Кузнецов А.Н., Заграничный К.А., Лукьянченко А.Д., Черноусов С.Я.* Потоки взвеси на черноморском шельфе в районе Анапа – Архипо-Осиповка по данным седиментационных ловушек (результаты натурных экспедиционных работ) // Геология морей и океанов. Материалы XIX Международной научной конференции (школы) по морской геологии. Т. 3. М.: Геос, 2011. С. 28–32.
- Ежемесячные и итоговые бюллетени спутникового мониторинга российского сектора Черного и Азовского морей за 2006–2015 гг. ФГБУ «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета» // http://planet.iitp.ru/index.php?page_type=projects&page=sea_monitor (дата обращения: 14.02.2021).
- ЕСИМО (Единая государственная система информации об обстановке в Мировом океане). Росгидромет // <http://esimo.ru/portal/portal/esimo-user/data> (дата обращения: 15.12.2020).
- Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник, 2018 / Под ред. А.Н. Коршенко. М.: Наука, 2019. 190 с.
- Кленкин А.А., Агапов С.А.* Динамика распределения нефтепродуктов в воде и донных отложениях Азовского и Черного морей после аварии судов в Керченском проливе // Водные ресурсы. 2011. № 2. С. 214–222.

- Консолидированный грузооборот Группы НМТП за 2019 год. Новороссийский морской торговый порт. Пресс-релиз 21.01.2020 // http://www.nmtp.info/holding/press-centre/news/news_detail.php?ID=9431 (дата обращения: 02.01.2021).
- Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А.* Закономерности распределения и трансформации нефтяного загрязнения в районе техногенной катастрофы в Керченском проливе // Известия Русского географического общества. 2010. Т. 142. Вып. 2. С. 53–59.
- Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А.* Нефтяные компоненты в устьевой области р. Дон и Азовском море (результаты многолетних исследований) // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 1. С. 49–59.
- Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А., Заграничный К.А.* Нефтяное загрязнение побережья Черного моря в районе г. Новороссийска (по результатам многолетних исследований) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2013. № 1. С. 71–77.
- Кузнецов А.Н., Федоров Ю.А., Фатталь П., Фабри Л., Рязанцева И.А., Кузнецова Е.В.* Самоочищение морских побережий, загрязненных мазутом: результаты многолетних наблюдений, моделирование и картографирование // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: Сб. трудов IX Международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального университета, 2020. С. 388–393.
- Матишов Г.Г., Инжебейкин Ю.И., Савицкий Р.М.* Воздействие на среду и биоту аварийного разлива нефтепродуктов в Керченском проливе в ноябре 2007 г. // Водные ресурсы. 2013. Т. 40. № 3. С. 259.
- Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Харьковский В.М., Соьер В.Г.* Нефтяное загрязнение Азовского и Черного морей растет // Природа. 2016. № 5. С. 64–69.
- Немировская И.А., Завьялов П.О., Коновалов Б.В., Храмова А.В.* Содержание и состав углеводов в воде и осадках в районе Керченского пролива // Доклады Российской академии наук. 2020. Т. 492. № 1. С. 118–123.
- Немировская И.А., Лисицын А.П.* Углеводы в водах и донных осадках прибрежных районов северо-восточной части Черного моря // Доклады Академии наук. 2015. Т. 464. № 3. С. 334–340.
- Немировская И.А., Онегина В.Д., Коновалов Б.В.* Особенности распределения углеводов в прибрежной зоне северо-восточной части Черного моря // Океанология. 2015. Т. 55. № 5. С. 759–769.
- Никаноров А.М., Страдомская А.Г.* Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем. Ростов-на-Дону: НОК, 2008. 222 с.
- Оценка загрязнения морской среды Керченского пролива и прилегающих акваторий морей в результате аварийного разлива нефтепродуктов 11 ноября 2007 г. по данным математического моделирования, регулярного мониторинга и эпизодических наблюдений. М.: ГОИН, 2009. 71 с.
- Руководство по расчету режимных характеристик морского ветрового волнения. РД 52.10.865-2017. М.: Росгидромет, 2018. 60 с.
- Страдомская А.Г., Боева Л.В., Рязанцева И.А.* Массовая концентрация нефтепродуктов в водах. Методика выполнения измерений ИК-фотометрическим методом. РД 52.24.476-2007. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2007. 33 с.
- Страдомская А.Г., Рязанцева И.А.* Массовая доля нефтяных компонентов в донных отложениях. Методика выполнения измерений с идентификацией их состава и происхождения ИК-фотометрическим, люминесцентным и газохроматографическим методами. РД 52.24.505-2010. Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2010. 50 с.

- Федоров Ю.А., Кузнецов А.Н., Трофимов М.Е.* Скорость осадконакопления в Азовском море по результатам определения удельной активности Cs-137 и Am-241 // Доклады Академии наук. 2008. Т. 423. № 2. С. 262–263.
- Федоров Ю.А., Страдомская А.Г., Кузнецов А.Н.* Закономерности трансформации нефтяного загрязнения в водотоках по данным многолетних наблюдений // Водные ресурсы. 2006. Т. 33. № 3. С. 327–337.
- Kuznetsov A., Fedorov Yu., Fattal P.* Long-term weathering of fuel oil spilled from the tanker “Erika” on the Atlantic coast of France // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019. Conference Proceedings. Albena, Bulgaria, 2019. Vol. 19. Iss. 5.1. P. 445–451.
- Kuznetsov A.N., Fedorov Yu.A., Fattal P.* Natural destruction of spilled fuel oil from the “Prestige” tanker on the Galician coasts of Spain // 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Conference Proceedings. Albena, Bulgaria, 2018. Vol. 18. Iss. 5.1. P. 573–580.
- Levenberg K.* A method for the solution of certain problems in least squares // Quarterly of Applied Mathematics. 1944. Vol. 2. P. 164–168.
- Marquardt D.W.* An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters // Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics. 1963. Vol. 11. Iss. 2. P. 431–441.
- Oil Spill in the Kerch Strait. Ukraine Post-Disaster Needs Assessment. United Nations Environment Program, 2008. 80 p. // <https://www.unenvironment.org/ru/node/18261> (дата обращения: 03.01.2021).

OIL POLLUTION OF THE BLACK SEA COAST IN THE AREAS OF THE TSEMES BAY AND THE KERCH STRAIT: LONG-TERM DYNAMICS AND ASSESSMENT OF SELF-CLEANING CAPACITY

Kuznetsov A.N., Kuznetsova E.V.

*Southern Federal University,
105/42, ul. Bolshaya Sadovaya, Rostov-on-Don, 344006, Russia,
e-mail: ankuznecov@sfedu.ru
Submitted 09.01.2021, accepted 24.03.2021.*

The paper examines the results of twelve-year (2007 to 2019) observations of spatial distribution and temporal changes in the concentrations of petroleum components in the coastal waters and sediment cores, as well as in the quantity and composition of oil slicks and tar balls on the beaches, cliffs and solid constructions of the Black Sea coast in the area of the city of Novorossiysk, which is the most important oil seaport of Russia, and in the Kerch Strait. 165 samples of seawater, 24 sediment cores up to 50 cm long split layer-by-layer into 108 samples, and 102 samples of oil slicks and tar balls were taken and analyzed with the use of thin layer and column chromatography, optical and gravimetric methods. The evidences of high level and chronic character of oil pollution of the studied coastal sectors are presented. Much attention is given to the dynamics of the natural transformation of oil slicks and tar balls found on the shore. It is shown that over time, under the influence of natural factors of attenuation, the oil slicks stranded ashore undergo an exponential decrease of the ratio between relatively labile hydrocarbons and conservative asphaltic components in their composition. The rate of the process may vary considerably depending on the size of oil pollution traces, their location on the coastal zone profile, as well as on the climatic,

hydrological, and geomorphological conditions. An empirical statistical model is developed on the base of this data. This model makes it possible to classify and to map seacoasts according to their ability to degrade oil pollution using the information on the principal environmental parameters of attenuation.

Keywords: Black Sea, Kerch Strait, Tsemes Bay, coastal zone, oil pollution, hydrocarbons, resins, asphaltenes, transformation

Acknowledgements: The study was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (grants of the President of the Russian Federation MK-2574.2008.5, MK-4216.2010.5, government contract No. 14.740.11.1045, and government task in the field of scientific activity No. 0852-2020-0029).

References

- Bedritskii, A.I., V.V. Asmus, V.A. Krovotyntsev, O.Yu. Lavrova, and A.G. Ostrovskii, 2007: Satellite monitoring of pollution in the Russian sector of the Azov and Black seas in 2003–2007. *Russian Meteorology and Hydrology*, **32**(11), 669–674.
- Cargo turnover of the Seaports of Russia from January to December 2019. Association of cargo seaports, <https://www.morport.com/rus/news/gruzooborot-morskikh-portov-rossii-za-yanvar-dekabr-2019-g> (last accessed 02.01.2021).
- Denisovl, V.I., Yu.Yu. Tkatchenko, A.N. Kuznetsov, K.A. Zagranichny, A.D. Lukyanchenko, and S.Ya. Chernousov, 2011: Potoki vzvesi na chernomorskom shel'fe v raione Anapa – Arkhipo-Osipovka po dannym sedimentatsionnykh lovushek: rezul'taty naturnykh ekspeditsionnykh rabot (Suspended matter fluxes on the Black Sea shelf in the area from Anapa to Arkhipo-Osipovka according to the data from sediment traps: results of field research). *Geologiya morey i okeanov. Materialy XIX Mezhdunarodnoi nauchnoi konferencii (shkoly) po morskoi geologii*, 3, Moscow, Geos, 28–32.
- ESIMO (Unified State System of Information about the Situation in the World Ocean), Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, <http://esimo.ru/portal/portal/esimo-user/data> (last accessed 15.12.2020)
- Fedorov, Yu.A., A.G. Stradomskaya, and A.N. Kuznetsov, 2006: Regularities in the transformation of oil pollution in watercourses based on long-term observational data. *Water Resources*, **33**(3), 300–309.
- Fedorov, Yu.A., A.N. Kuznetsov, and M.E. Trofimov, 2008: Sedimentation rates in the sea of Azov inferred from ¹³⁷Cs and ²⁴¹Am specific activity. *Doklady Earth Sciences*, **423**(1), 1333–1334.
- Klenkin, A.A. and S.A. Agapov, 2011: Dynamics of oil product distributions in water and bottom sediments of the Sea of Azov and the Black Sea after ship accidents in the Kerch Strait. *Water Resources*, **38**(2), 220–228.
- Kuznetsov, A., Yu. Fedorov, and P. Fattal, 2019: Long-term weathering of fuel oil spilled from the tanker “Erika” on the Atlantic coast of France. *19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2019. Conference Proceedings*. Albena, Bulgaria, **19**(5.1), 445–451.
- Kuznetsov, A.N. and Yu.A. Fedorov, 2014: Oil Components in the Mouth Area of the Don R. and in the Sea of Azov: Results of Many-Year Studies. *Water Resources*, **41**(1), 55–64.

- Kuznetsov, A.N. and Yu.A. Fedorov, 2010: Zakonomernosti raspredeleniia i transformacii neftianogo zagriazneniia v raione tekhnogennoi katastrofy v Kerchenskom prolive (Regularities of distribution and transformation of oil pollution in the area of technogenic disaster in the Kerch Strait). *Izvestiia Russkogo geograficheskogo obschestva*, **142**(2), 53–59.
- Kuznetsov, A.N., Yu.A. Fedorov, and P. Fattal, 2018: Natural destruction of spilled fuel oil from the “Prestige” tanker on the Galician coasts of Spain. *18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018. Conference Proceedings*. Albena, Bulgaria, **18**(5.1), 573–580.
- Kuznetsov, A.N., Yu.A. Fedorov, and K.A. Zagranichny, 2013: Neftianoe zagriaznenie poberezhia Chernogo moria v raione g. Novorossiyska: po rezul'tatam mnogoletnikh issledovaniy (Oil pollution of the Black Sea coast in the area of the city of Novorossiysk: results of long-term research). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Estestvennye nauki*, **1**, 71–77.
- Kuznetsov, A.N., Yu.A. Fedorov, P. Fattal, L. Fabri, I.A. Ryazantseva, and E.V. Kuznetsova, 2020: Samoochislenie morskikh poberezhii, zagryaznennykh mazutom: rezul'taty mnogoletnih nabludeniy, modelirovanie i kartografirovaniye (Self-cleaning of seacoasts polluted by fuel oil: results of long-term observations, modeling, and mapping). *Ekologicheskie poroblemny. Vzgljad v budushee. Sbornik trudov IX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii*, Rostov-on-Don, Taganrog, Southern Federal University, 388–393.
- Levenberg, K., 1944: A method for the solution of certain problems in least squares. *Quarterly of Applied Mathematics*, **2**, 164–168.
- Marine Water Pollution*. Annual Report 2018, Ed. A. Korshenko, Moscow, Nauka, 2019, 190 p.
- Marquardt, D.W., 1963: An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, **11**(2), 431–441.
- Matishov, G.G., Y.I. Inzhebeikin, and R.M. Savitskii, 2013: The Environmental and Biotic Impact of the Oil Spill in Kerch Strait in November 2007. *Water Resources*, **40**(3), 271–284.
- Matishov, G.G., O.V. Stepanian, V.M. Khar'kovskii, and V.G. Soyev, 2016: Neftianoe zagriaznenie Azovskogo i Chernogo morei rastet (Oil pollution of the Sea of Azov and the Black Sea is increasing). *Priroda*, **5**, 64–69.
- NCSP Group's consolidated cargo turnover for 2019 totaled 142.5 million tons. Novorossiysk Commercial Sea Port, http://www.nmtp.info/en/holding/press-centre/news/news_detail.php?ID=9503 (last accessed 02.01.2021).
- Nemirovskaya, I.A. and A.P. Lisitzin, 2015: Hydrocarbons in waters and bottom sediments of coastal areas in the northeastern part of the Black Sea. *Doklady Earth Sciences*, **464**(1), 972–978.
- Nemirovskaya, I.A., V.D. Onegina, and B.V. Konovalov, 2015: Features of hydrocarbon distribution in the coastal zone of the northeastern Black Sea. *Oceanology*, **55**(5), 686–695.
- Nemirovskaya, I.A., P.O. Zavyalov, B.V. Konovalov, and A.V. Khramtsova, 2020: Content and Composition of Hydrocarbons in Water and Sediments in the Area of Kerch Strait. *Doklady Earth Sciences*, **492**(1), 387–391.
- Nikanorov, A.M. and A.G. Stradomskaya, 2008: Problemy neftianogo zagriazneniia presnovodnykh ecosystem. *Issues of oil pollution in the fresh-water ecosystems*, Rostov-on-Don, NOK, 222 p.
- Oil Spill in the Kerch Strait. Ukraine Post-Disaster Needs Assessment*. United Nations Environment Program, 2008, 80 p. <https://www.unenvironment.org/ru/node/18261> (дата обращения: 03.01.2021).

- Otsenka zagriazneniia morskoi vody Kerchenskogo proliva i preilegaiuschikh akvatorii morei v rezul'tate avariinogo razliva nefteproduktov 11 noiabria 2007 goda po dannym matematicheskogo modelirovaniia, reguliarnogo monitoring i epizodicheskikh nabliudeni* (Assessment of the Strait of Kerch and surrounding seas environment pollution resulting from the accidental oil spill on the 11 November 2007 using the data of mathematical modeling, regular monitoring and episodic observations). Moscow, Russian State Oceanographic Institute, 2009, 71 p.
- Rukovodstvo po raschetu rezhimnykh kharakteristik morskogo vetrovogo volneniia* (Guide for calculation of regime characteristics of marine wind waves). RD 52.10.865-2017. Moscow: Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, 2018, 60 p.
- Space monitoring of the Black Sea coastal waters pollution. State Research Center "Planeta"*, 2006–2015, http://planet.iitp.ru/index.php?page_type=projects&page=sea_monitor&lang=en (last accessed 14.02.2021).
- Stradomskaya, A.G. and I.A. Ryazantseva, 2010: *Massovaia dolia neftiannykh komponentov v donnykh otlozheniakh. Metodika vypolneniia izmerenii s identifikatsiei ikh sostava i proiskhozhdeniia IK-fotometricheskim, luminestsentnym I gazokhromatograficheskimi matodami* (Mass proportion of petroleum components in the bottom sediments. Methodology of measurement coupled with identification of their composition and origin using IR-photometric, luminescent and gas-chromatographic methods). RD 52.24.505-2010, Rostov-on-Don, Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, 50 p.
- Stradomskaya, A.G., L.V. Boeva, and I.A. Ryazantseva, 2007: *Massovaia kontsentraciia nefteproduktov v vodakh. Metodika vypolneniia izmerenii IK-fotometricheskimi matodom* (Mass concentrations of petroleum products in waters. Methodology of measurement using IR-photometric method). RD 52.24.476-2007. Rostov-on-Don, Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, 33 p.