

9.2. Нефтяное загрязнение береговой зоны Черного моря в районе г. Новороссийска и динамика его естественной трансформации

А.Н. Кузнецов, Ю.А. Федоров

Введение

Российское побережье Черного моря выделяется ключевым географическим положением на пути важнейших транспортных потоков нефти и продуктов ее переработки. Через черноморские порты России осуществляется транзит около четверти российского и большая часть казахстанского нефтяного экспорта – без малого 140 млн. т нефти и нефтепродуктов по итогам 2016 г. [Грузооборот..., 2017]. Это создает мощное техногенное давление на природные комплексы и ставит под угрозу развитие курортной инфраструктуры и состояние уникальных ландшафтов. В наибольшей степени техногенному давлению подвержены экосистемы бе-

реговой зоны Черного моря в районе г. Новороссийска – крупнейшего морского порта России. Ежегодно через его терминалы отгружается около 100 млн. т нефти и нефтепродуктов. Помимо транспортной инфраструктуры важными источниками нефтяного загрязнения в исследуемом районе являются промышленные и коммунально-бытовые сточные воды, плоскостной смыв, атмосферные выпадения.

Согласно результатам космического мониторинга, выполняемого НИЦ «Планета» с 2003 г. ежегодно в период с апреля по октябрь [Ежемесячные..., 2006–2015], на подходах к Керченскому проливу и к портам Новороссийск, Туапсе, а также в широкой полосе акватории Черного моря вдоль российского побережья на удалении от 50 до 150 км и более от берега на водной поверхности регулярно фиксируются различные по площади нефтяные пленки, большая часть которых связана со сбросом загрязненных вод с проходящих судов. Так, за период 2003–2015 гг. в Российском секторе Черного и Азовского морей обнаружено около 500 нефтяных пятен, в т.ч. около 70 – площадью более 10 км². О высоком уровне нефтяного загрязнения рассматриваемой акватории свидетельствуют и результаты исследований, приведенные в работах [Бедрицкий и др., 2007; Кузнецов и др., 2008, 2013; Кленкин, Агапов, 2011; Матишов и др., 2016; Немировская, Лисицын, 2015; Немировская и др., 2015, 2017].

Одной из форм нефтяного загрязнения береговой зоны являются слики и ветрелые агрегаты, выбрасываемые на побережье. При мониторинговых исследованиях им обычно не придают такого значения, как содержанию нефтяных компонентов в водной толще и донных отложениях. В то же время, как было показано нами ранее [Кузнецов и др., 2011], деструкция нефтяных сликов и агрегатов, скопившихся на побережье, с выделением легких водорастворимых компонентов и их ремобилизация во время штормов способны существенно повлиять на уровень загрязнения прибрежных вод.

Цель настоящей работы – проанализировать результаты десятилетних (2007–2016 гг.) наблюдений за изменением количества, свойств и состава нефтяных агрегатов и сликов на побережье Черного моря в районе нефтеналивных терминалов г. Новороссийска и сопоставить их с результатами изучения содержания нефтяных компонентов в водной толще и донных отложениях, а также оценить скорость естественной деструкции нефтяного загрязнения.

Материалы и методы

В августе–сентябре 2007–2010 гг., в каждый из четырех сезонов 2011 г., в июне 2012, 2013 гг., сентябре 2014 г. и июле 2016 г. проведены экспедиционные исследования на побережье и в прибрежных водах г. Новороссийска и его окрестностей. Схема станций наблюдений и отбора проб представлена на рис. 9.2.1.

В рамках данного исследования в полевых условиях были выполнены визуальная оценка уровня загрязнения береговой зоны, отбор проб воды и донных

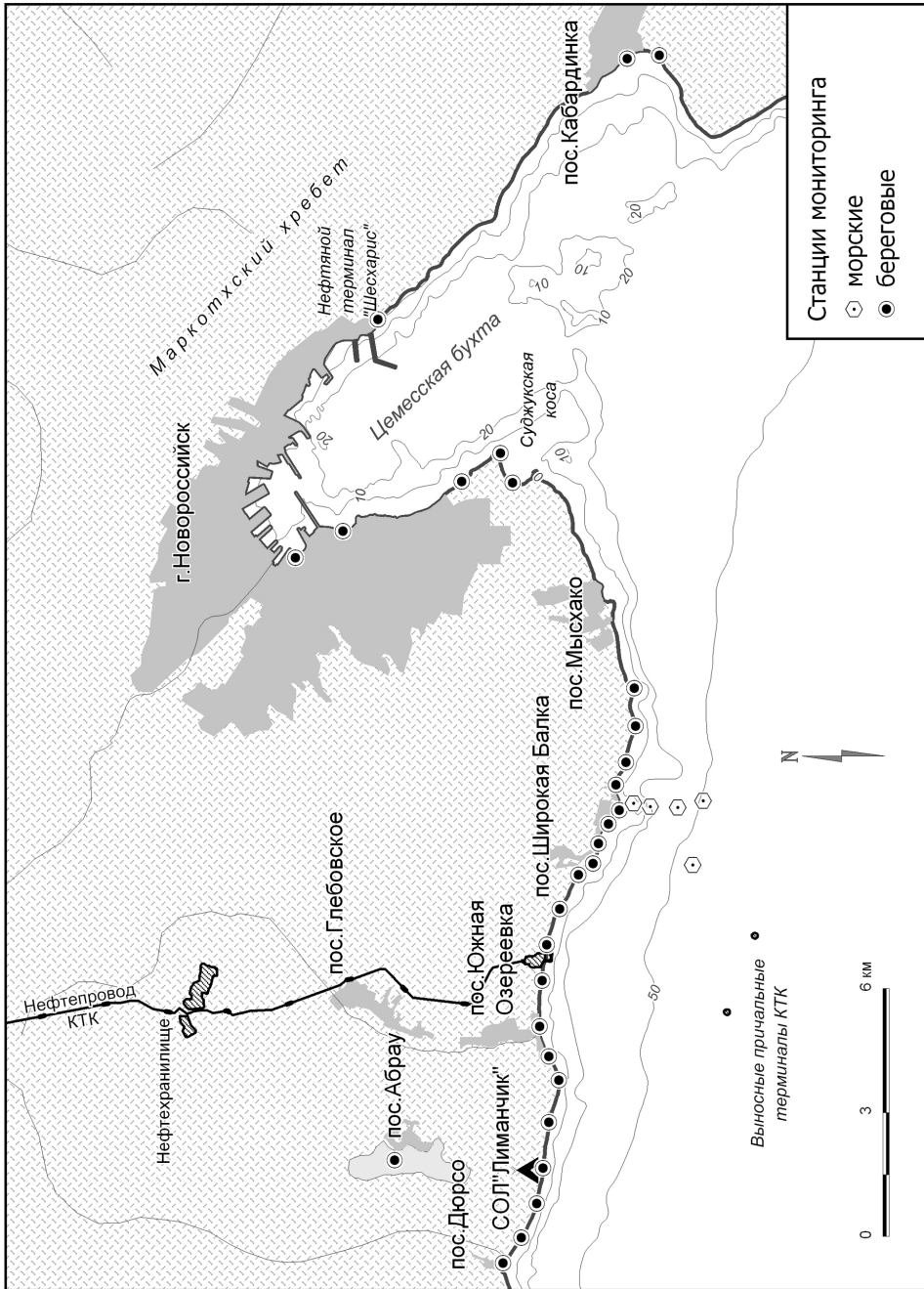


Рис. 9.2.1. Схема станций наблюдений и отбора проб в районе г. Новоросийска.

отложений, отбор, визуальное и органолептическое описание образцов нефтяных агрегатов и покрытых сликами береговых отложений, обнаруженных на побережье, гидрометеорологические наблюдения. Отбор проб воды производился батометром ГР-18, донных отложений – ударной грунтовой трубкой конструкции ГОИН длиной 1 м с последующим послойным опробованием с датировкой радиологическими методами. В общей сложности, за десятилетний период исследований были отобраны и проанализированы на предмет содержания нефтяных компонентов 83 пробы воды, 102 образца нефтяных агрегатов и сликов, четыре колонки донных отложений мощностью до 20 см, разделенные на 22 пробы.

Анализ проб выполнялся в Гидрохимическом институте Росгидромета в соответствии с комплексом методик [Никаноров, Страдомская, 2008; Страдомская и др., 2007, 2010], включающих колоночную и тонкослойную хроматографию, оптические и гравиметрические методы, которые позволяют отдельно определять содержание трех групп компонентов нефти: 1) алифатических, алициклических, моно- и диароматических углеводородов (УВ), полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), смолистых компонентов (СК) – смол и асфальтенов, а также идентифицировать среди них присутствие продуктов современного биосинтеза. Кроме того, в пробах донных отложений определялась активность радиоизотопов ^{137}Cs , ^{241}Am , ^{210}Pb и ^{226}Ra гамма-спектрометрическим методом для их последующей датировки [Федоров и др., 2008].

Результаты и их обсуждение

Согласно полученным результатам, в течение периода наблюдений содержание углеводородов в прибрежных водах, как правило, превышало величину ПДК для водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение, установленную на уровне 0,05 мг/л. Наиболее высокие концентрации (0,33–0,74 мг/л) отмечены в конце августа – начале сентября 2007 г. и в конце августа 2008 г. (табл. 9.2.1). В первом случае в районе пос. Южная Озереевка, где с 2001 г. действует морской нефтеналивной терминал Каспийского трубопроводного консорциума, во время дневного бриза с моря в воздухе отчетливо ощущался характерный нефтяной запах [Кузнецов и др., 2008]. В последующем наблюдалась устойчивая тенденция снижения уровня содержания углеводородов до 0,06 мг/л и менее в 2011–2013 гг. на фоне некоторого сокращения общего грузооборота торговых портов региона, в том числе объемов отгрузки нефти и нефтепродуктов в связи с кризисными явлениями в мировой экономике. В частности, суммарный грузооборот портовых терминалов г. Новороссийска с 2009 по 2013 г. снизился примерно на 8,9%. Правда, к 2015 г. он отыграл это снижение, а по итогам 2016 г. достиг 131,4 млн. т в год, превысив показатель 2009 г. на 6,3% [Грузооборот..., 2017]. Немаловажную роль в оздоровлении ситуации, вероятно, также сыграл планомерный ввод в эксплуатацию

Таблица 9.2.1

**Содержание суммы нефтяных компонентов в прибрежных водах Черного моря
в районе г. Новороссийска в 2007 – 2016 гг.**

Даты отбора проб	Кол-во изученных проб	Диапазон изменения концентраций, мг/дм ³	Средняя концентрация, мг/дм ³	Кратность превышения ПДК _{р.к.}
29.08 – 08.09.2007	6	0,39 – 0,74	0,61	12,2
22 – 27.08.2008	9	0,33 – 0,50	0,41	8,2
29.08 – 10.09.2009	10	0,14 – 0,33	0,25	4,8
29.08 – 08.09.2010	7	0,14 – 0,31	0,23	3,8
05 – 06.01.2011	5	0,00 – 0,13	0,08	1,6
15 – 16.05.2011	5	0,02 – 0,13	0,08	1,6
31.08 – 05.09.2011	9	0,00 – 0,34	0,07	1,4
04 – 05.11.2011	5	0,00 – 0,06	0,03	0,6
23 – 24.06.2012	7	0,00 – 0,06	0,01	0,2
25 – 29.06.2013	8	0,00 – 0,04	0,02	0,4
7 – 8.09.2014	7	0,01 – 0,11	0,07	1,4
31.07.2016	5	0,07 – 0,17	0,11	2,2

локальных очистных сооружений производственных и дождевых сточных вод на вновь возводимых и реконструируемых объектах промышленности, портовой инфраструктуры и курортного бизнеса. В последующие годы содержание углеводородов в прибрежных водах несколько увеличилось: в среднем до 0,07 мг/л в начале сентября 2014 г. и 0,11 мг/л в конце июля 2016 г.

Необходимо иметь в виду, что уровень нефтяного загрязнения береговой зоны может меняться не только вследствие изменения поступления, но и по причине его перераспределения и переноса в шельфовых водах под действием природных факторов, прежде всего гидрометеорологических [Бедрицкий и др., 2007; Кузнецов и др., 2013]. Например, в конце августа – начале сентября 2007 г., когда нами фиксировались наиболее 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..., 2006–2015], прибрежная ветвь Основного черноморского циклического течения (ОЧЦТ) 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 ОЧЦТ и активизации прибреж-

ных 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–сентября 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 ОЧЦТ и активизации кросс-шельфовых течений.

В ходе ежесезонных наблюдений 2011 г. максимальные концентрации углеводов были отмечены зимой и весной (см. табл. 9.2.1), когда в регионе выпадает большая часть годовой суммы атмосферных осадков, увеличивается смыв загрязняющих веществ с водосборных площадей и расход рек, впадающих в Черное море, а также снижается скорость естественной трансформации органических веществ в связи с пониженной температурой. В летний период концентрации углеводов изменились незначительно и по-прежнему превышали величину ПДК. Этому способствует сезонное увеличение туристической нагрузки и активизация биосинтеза органических веществ, а также некоторое возрастание интенсивности судоходства в более благоприятных, по сравнению с холодным временем года, навигационных условиях. При этом рост содержания углеводов сдерживается деструкционными процессами, активность которых летом максимальна. Также важно обратить внимание на влияние прибрежного антициклонического вихря, который, по данным Центра космической метеорологии «Планета» [Ежемесячные..., 2006–2015], в конце августа – начале сентября располагался в районе мыса Утриш, перемещаясь в северо-западном направлении. В тыловой части этого вихря, в районе Цемесской бухты, сформировалось кросс-шельфовое течение, направленное от берега в открытое море, которое разорвало на данном участке прибрежную ветвь ОЧЦТ и обеспечило вынос загрязненных прибрежных вод в открытое море. В этих благоприятных для вентиляции бухты условиях на всех пяти станциях, расположенных между Суджукской косой и пос. Кабардинка, нами фиксировалось содержание углеводов на уровне предела обнаружения. В то же время, ближе к центру прибрежного антициклонического вихря концентрации увеличивались до 0,10–0,34 мг/дм³. Самый низкий в течение 2011 г. средний для района исследований уровень содержания углеводов отмечался в начале ноября 2011 г. на фоне снижения антропогенной нагрузки и затухания процессов биосинтеза.

Для изучения распределения содержания углеводов по вертикальному разрезу водной толщи 3 сентября 2011 г. в районе поселка Широкая Балка на расстоянии 1,5 км от берега с лодки при помощи батометра ГР-18 был осуществлен отбор проб воды из разных горизонтов. Глубина моря на станции составляла 60 м. Полученные результаты представлены в табл. 9.2.2. Незначительное снижение температуры воды по вертикали и отсутствие выраженного термоклина до глубины 50 м обусловлено хорошим прогревом водной толщи в течение летнего сезона и ее перемешиванием, чему в немалой степени способствовали грозовые фронты,

Таблица 9.2.2

**Распределение концентраций углеводородов по разрезу водной толщи
Черного моря в районе пос. Широкая Балка 3 сентября 2011 г.**

Глубина отбора проб	Температура воды, °С	Содержание углеводородов, мг/дм ³
0	24,8	0,11
5	24,2	0,07
10	24,2	0,07
20	24,2	0,05
50	23,8	0,05

проходившие 24–25 августа и 3–4 сентября и сопровождавшиеся усилением северо-восточного ветра до 12–22 м/с и волнением высотой до 1,0–1,5 м. Отмеченное двукратное падение концентраций углеводородов с глубиной представляется закономерным ввиду их пониженной плотности и склонности накапливаться у водной поверхности. Тем не менее, в условиях хорошей перемешанности водной толщи даже на глубинах 20–50 м содержание углеводородов сохранялось на достаточно высоком уровне, резких его скачков не наблюдалось.

Для сравнения интересно привести результаты анализа массива данных о распределении содержания углеводородов в водной толще на участке Туапсе–Адлер, представленные в работе [Глумов, Кочетков, 1996]. В отличие от наблюдавшейся нами ситуации, в условиях хорошо выраженной стратификации водной массы авторами выявлено накопление углеводородов в нижней части квазиоднородного слоя над термоклином, который в данном случае служит геохимическим барьером.

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 экосистемы за многолетний период. Результаты послойного обследования четырех колонок донных отложений мощностью до 20 см, отобранных в районе пос. Широкая Балка, свидетельствуют о сравнительно низком уровне загрязнения субстрата: во всех пробах, за исключением двух, концентрации суммы нефтяных компонентов не превышали 0,13 мг/г сухой массы (рис. 9.2.2). Это может быть обусловлено значительными глубинами в районе отбора проб (45–50 м) и невысокой сорбционной способностью слагающих дно песчано-ракушечных и песчано-илистых отложений. Во всех обследованных пробах в составе углеводородов отмечено преобладание продуктов современного биосинтеза. На это указывает молочно-голубая люминесценция тонкослойных хроматографических пластинок с нанесенным на них экстрактом в ультрафиолетовом свете.

Лишь в одной колонке, отобранной в начале сентября 2009 г. на станции между пос. Широкая Балка и выносными причалами морского терминала Каспийского

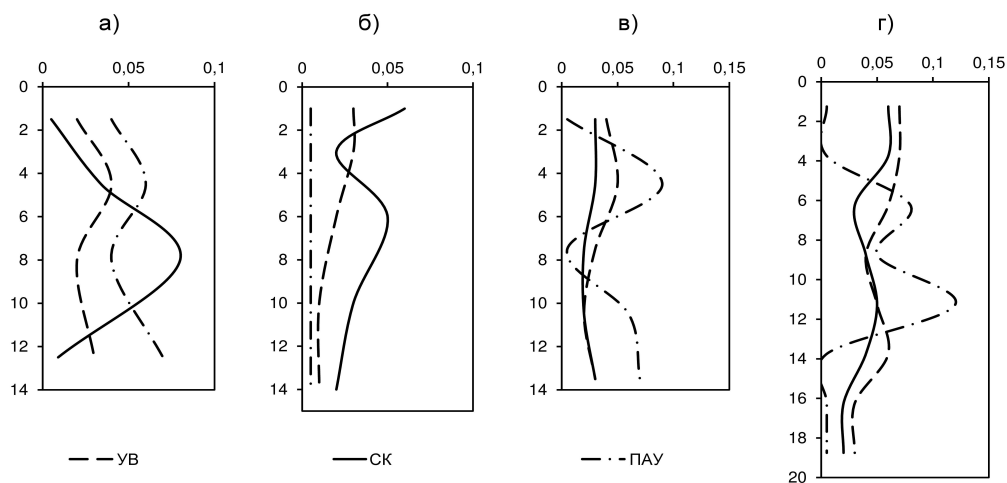


Рис. 9.2.2. Вертикальное распределение содержания углеводородов (УВ, мг/г сухой массы), смолистых компонентов (СК, мг/г сухой массы, в колонке (а) – $\cdot 10$ мг/г сухой массы) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ, мкг/г сухой массы) в колонках донных отложений Чёрного моря, отобранных в районе пос. Широкая Балка. Глубина моря в точках отбора проб – 45–50 м. По оси абсцисс отложены концентрации, по оси ординат – глубины залегания опробованных слоев донных отложений (см).

трубопроводного консорциума 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) (см. рис. 9.2.2а). 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 и ^{210}Pb , а также скоростям осадконакопления, установленным с помощью седиментационных ловушек [Денисов и др., 2011], свидетельствует о том, что речь идет о слоях донных отложений, сформировавшихся до середины 1980-х годов. Возможность вариации содержания нефтяных компонентов в донных отложениях российского шельфа Черного моря в столь широких пределах подтверждают и результаты мониторинга АзНИИРХ 2004–2008 гг. [Кленкин, Агапов, 2011].

Наряду с достаточно высоким уровнем загрязнения морской воды вдоль всего обследованного участка побережья на галечных пляжах, скалистых террасах и утесах нами регулярно фиксировались многочисленные различающиеся по составу и свойствам нефтяные агрегаты и слики. Повышенной их встречаемостью обычно характеризовались выдающиеся в море мысы и примыкающие к ним участки пляжей. Особенно в этом плане выделяется Суджукская коса, располо-

женная у входа в Цемесскую бухту, напротив нефтеналивного терминала компании «Транснефть» в пос. Шесхарис. На пляжах, прилегающих к базам отдыха, где регулярно проводится очистка и подсыпка пляжевого материала, они, как правило, отмечались единично или визуально отсутствовали.

Основная часть нефтяных агрегатов выбрасывается на побережье штормами: во время наблюдений, проводившихся после дней с грозами, сильным ветром и волнением, удавалось обнаружить значительно больше образцов, в особенности крупных размеров (десятки сантиметров в диаметре), чем во время исследований, проводившихся в спокойную погоду. Чаще всего нефтяные агрегаты встречались на расстоянии 10–15 м от уреза воды, в т.ч. нередко в толще пляжа на глубине до 10–15 см. По всей видимости, они были заброшены во время сильного прибоя и затем подсохли, цементируя полости в галечно-гравийных отложениях и формируя асфальтоподобные конгломераты. 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.

Сопоставление результатов мониторинга за разные годы свидетельствует о том, что к 2010–2011 гг. уровень загрязнения побережья существенно снизился по сравнению с 2007–2008 гг. Если в 2008 г. на Суджукской косе и в районе пос. Широкая Балка, Южная Озереевка нефтяные агрегаты встречались повсеместно, чуть меньше их было на пляже, примыкающем к нефтеналивному терминалу «Шесхарис», то в 2010–2016 гг. в этих районах они отмечались уже единично.

По внешнему виду, органолептическим свойствам и компонентному составу следов нефтяного загрязнения можно сделать вывод о присутствии как «старых», выветрелых образцов, состоящих на 60–80% из устойчивых к биохимической трансформации смолистых соединений (смол и асфальтенов), так и довольно «свежих» агрегатов с преобладанием алифатических и алициклических углеводородов (табл. 9.2.3). Дело в том, что с течением времени под действием факторов окружающей среды состав нефти и нефтепродуктов закономерно изменяется. При этом соотношение между углеводородами, 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 углеводородов. В этой связи ранее нами была высказана и теоретически обоснована идея о возможности использования соотношения содержания суммы нефтяных углеводородов и суммы смолистых компонентов (УВ/СК) в качестве упрощенного показателя степени трансформации разлившейся нефти [Федоров, 1999; Федоров и др., 2006].

Как видно из табл. 9.2.3, среди обследованных образцов нефтяных агрегатов и сликв преобладали выветренные, что свидетельствует о хроническом характере загрязнения. Исключение составил лишь август 2008 г., когда преобладали достаточно «свежие» агрегаты, зачастую крупные (до 7 см в диаметре), по составу

Таблица 9.2.3

**Встречаемость различных по степени трансформации агрегатов
на побережье Новороссийского района**

Даты отбора проб	Кол-во проб	Количество образцов с различной степенью трансформации		
		достаточно «свежие» (в составе УВ преобладают над СК)	выветрелые (в составе доли УВ и СК примерно равны)	сильно выветрелые (в составе СК преобладают над УВ)
29.08 – 08.09.2007	8	0	5	3
22 – 27.08.2008	13	7	3	3
29.08 – 10.09.2009	13	2	8	3
29.08 – 08.09.2010	14	1	10	3
05 – 06.01.2011	7	0	5	2
31.08 – 05.09.2011	9	3	3	3
23 – 24.06.2012	10	3	6	1
25 – 29.06.2013	16	4	9	3
7 – 8.09.2014	5	0	5	0
31.07.2016	7	1	1	5
Всего за 2007–2016	102	21	55	26

отличавшиеся от наблюдавшихся ранее и сходные со сликками из Керченского пролива, где в ноябре 2007 г. во время шторма в результате крушения танкера «Волго-нефть-139» произошел разлив 1,3 тыс. т мазута.

Для оценки скорости естественной трансформации нефтяных агрегатов и сликов на побережье Черного моря в районе г. Новороссийска их образцы, отобранные в каждую из экспедиций, были разделены на несколько групп, относительно однородных по размеру, внешнему виду, органолептическим свойствам, составу и, как следствие, времени нахождения в береговой зоне. На рис. 9.2.3 показано изменение соотношения УВ/СК в составе агрегатов и сликов, отнесенных к разным группам, в течение десятилетнего периода наблюдений (2007–2016 гг.). Экспоненциальный характер этого изменения позволяет использовать для описания динамики процесса кинетическое уравнение реакции первого порядка:

$$(УВ/СК)_t = (УВ/СК)_0 \cdot e^{-kt},$$

где $(УВ/СК)_0$ и $(УВ/СК)_t$ – значения отношения содержания суммы нефтяных углеводородов к сумме смолистых компонентов в начальный момент и через временной интервал t , а k – константа скорости, равная доле поллюганта, претерпевшего трансформацию, за единицу времени и связанная с полупериодом трансформации

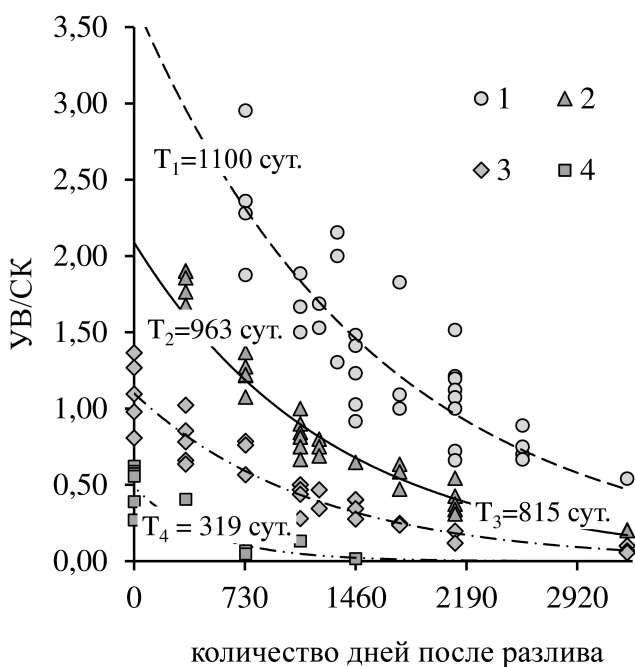


Рис. 9.2.3. Изменение соотношения между содержанием углеводородов и смолистых компонентов (УВ/СК) в составе нефтяных агрегатов и сликов, обнаруженных на побережьях: 1 – крупные скопления; 2, 3 – корки и агрегаты толщиной 2–10 мм, различающиеся по степени трансформации; 4 – тонкие пленки и потеки; Т – средние значения полупериодов трансформации (индекс соответствует номеру в легенде).

(Т) выражением $k = \ln 2 / T$. Таким образом, константа скорости (k) и полупериод (T) изменения соотношения УВ/СК в составе нефтяных агрегатов и сликов, загрязняющих побережье, могут служить показателями скорости его самоочищения. Причем, на наш взгляд, они подходят для этого лучше, чем массовые концентрации, поскольку позволяют исключить влияние процессов переноса и рассеивания.

Как видим, ключевым фактором, определяющим разброс значений полупериода трансформации поллютанта, является его дисперсность, от которой зависит поверхность соприкосновения с воздухом, морской водой и субстратом. Особенно медленно ($T = 1065$ сут) трансформируются крупные скопления нефти и нефтепродуктов, примерно в три раза активнее ($T = 328$ сут) подвергаются деструкции тонкие нефтяные пленки. Скорость трансформации агрегатов мазута, которые, как мы предполагаем, попали в рассматриваемый район в конце 2007 г. – начале 2008 г. из Керченского пролива ($T = 825$ сут), сопоставима со значениями, ранее полученными для сликов, выброшенных в ноябре 2007 г. на побережья кос Тузла

и Чушка вследствие крушения танкера «Волгонефть-139» ($T = 723\text{--}834$ сут) [Кузнецов и др., 2011; Kuznetsov et al., 2012]. Сравнение с результатами аналогичных исследований, проводимых авторами на северо-западных побережьях Франции и Испании [Kuznetsov et al., 2017], свидетельствует о том, что на пляжах и клифах Черного моря в районе г. Новороссийска в условиях большого количества солнечных дней, больших значений суммы активных температур воздуха, лучшей прогреваемости водной толщи в теплое время года, меньшей солености морских вод, отсутствия приливо-отливных явлений и, как следствие, большего времени воздействия на слики ультрафиолетового излучения и воздуха, процесс распада мазута протекает примерно в два-три раза активнее.

Выводы

1. 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 углеводородов в прибрежных водах, большое количество нефтяных агрегатов и сликов на пляжах и клифах береговой зоны. Среди последних преобладают выветренные, однако ежегодно встречаются и достаточно «свежие» образцы. Это говорит о хроническом характере загрязнения и регулярном поступлении новых его порций.

2. Сопоставление материалов наблюдений за разные годы, в целом, свидетельствует о наметившейся тенденции снижения уровня нефтяного загрязнения береговой зоны. К 2011–2013 гг. содержание углеводородов в прибрежных водах снизилось до уровня ПДК для водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение, заметно уменьшилось количество нефтяных агрегатов и сликов на побережье, даже в тех районах (Суджукская коса, пос. Широкая Балка, пос. Южная Озереевка), где в начале периода наблюдений (2007–2008 гг.) они встречались повсеместно.

3. Скорость естественной трансформации нефтяных агрегатов и сликов, выражающаяся в экспоненциальном снижении соотношения между относительно лабильными и консервативными их компонентами, варьирует от одного до трех лет, что в два-три раза выше, чем на атлантических побережьях Европы, и определяется исходным составом загрязнения, географическими факторами (прежде всего климатическими, гидрологическими), а также размерами и формой агрегатов, которые определяют поверхность соприкосновения с воздухом, морской водой и субстратом.

4. Перспективы планируемого наращивания грузопотоков углеводородного сырья в регионе могут привести к осложнению ситуации и поставить под угрозу нормальное функционирование этой важнейшей для России рекреационной зоны.

Работа выполнена при финансовой поддержке Южного федерального университета (внутренний грант 5.5795.2017/8.9).