



Геоэкология / Geoeology

Оригинальная статья / Original article

УДК 504.064.2; 504.054

DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-137-148

УГЛЕВОДОРОДНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

¹Елена В. Островская*, ²Евгений В. Колмыков, ³Оксана И. Холина,

³Татьяна С. Пронина, ³Мария В. Войнова

¹Каспийский морской научно-исследовательский центр,

Астрахань, Россия, eostrovskaya@mail.ru

²отдел экологии, ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», Астрахань, Россия

³лаборатория гидрохимии и экологии, Каспийский морской
научно-исследовательский центр, Астрахань, Россия

Резюме. Целью данной работы является оценка современного уровня загрязнения углеводородами морской среды северо-западной части Каспийского моря и определение основных источников их поступления. **Методы.** В основу работы легло обобщение результатов трехлетних исследований, проведенных в 2012-2014 гг. в рамках Программы Росгидромета по мониторингу трансграничных водных объектов Каспийского моря. В этот период были отобраны пробы воды и донных отложений для определения в них концентраций алифатических и полиароматических углеводородов. Общее содержание углеводородов (УВ) определяли методом инфракрасной спектроскопии, полиароматических (ПАУ) – методом газовой хроматографии и масс-спектрометрии. **Результаты** химического анализа показали, что концентрации УВ в воде менялись от следовых до 240 мкг/л, в донных отложениях – от следовых до 114 мкг/г. Суммарные концентрации ПАУ в воде варьировали от следов до 321 нг/л, в донных отложениях – от следов до 699 нг/г. Для определения источников нефтяного загрязнения привлекались данные космического мониторинга исследуемой акватории, которые показали значительное поступление углеводородов в морскую среду с судовыми сбросами. **Выводы.** Сравнение полученных результатов с ранее проведенными исследованиями и международными стандартами качества среды показали, что современный уровень загрязнения исследуемой акватории углеводородами незначителен.

Ключевые слова: Каспийское море, загрязнение морской среды, нефтяные углеводороды, полиароматические углеводороды, идентификация источников загрязнения, спутниковый мониторинг.

Формат цитирования: Островская Е.В., Колмыков Е.В., Холина О.И., Пронина Т.С., Войнова М.В. Углеводородное загрязнение северо-западной части Каспийского моря // Юг России: экология, развитие. 2016. Т.11, N1. С.137-148. DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-137-148

HYDROCARBON POLLUTION IN THE NORTH-WESTERN PART OF THE CASPIAN SEA

¹Elena V. Ostrovskaya*, ²Evgeniy V. Kolmykov, ³Oksana I. Kholina,

³Tatyana S. Pronina, ³Maria V. Voinova

¹Caspian Marine Research Center, Astrakhan, Russia, eostrovskaya@mail.ru

²Department of Ecology, LUKOIL-Nizhnevolzhsk Ltd., Astrakhan, Russia

³Laboratory of hydrochemistry and ecology, Caspian Marine Research Center,
Astrakhan, Russia

Abstract. Aim. The paper is aimed to estimate the current level of hydrocarbon pollution of the marine environment in the North-Western part of the Caspian Sea. **Methods.** The paper discusses the results of three-year studies conducted in 2012-2014 within the framework of Roshydromet's Programme of monitoring of transboundary waters of the Caspian Sea. Spatial distribution of concentrations of hydrocarbons (total and polyaromatic) in water and bottom sediments of the area was analysed. Concentrations of total hydrocarbons were determined by means of infrared spectrometry and PAHs – of gas chromatography with mass spectrometry. **Results.** The range of the total hydrocarbons in the area's water is from slight traces to 240 µg/l, in sediments – from traces to 114 µg/g (dry weight). Total



concentrations of PAHs in water varied from traces to 321 ng/l, in sediments – from traces to 699 ng/g (dry weight). For the source identification, data of satellite monitoring of the area were used. The data showed increasing input of hydrocarbons coming into the marine environment with discharges from vessels. **Conclusion.** The results of these studies are compared to those of previous research and show that the level of hydrocarbons in the area is typical for slightly polluted areas.

Keywords: Caspian Sea, marine pollution, total petroleum hydrocarbons, polyaromatic hydrocarbons, pollution source identification, satellite monitoring

For citation: Ostrovskaya E.V., Kolmykov E.V., Kholina O.I., Pronina T.S., Voinova M.V. Hydrocarbon pollution in the north-western part of the Caspian Sea. *South of Russia: ecology, development*. 2016, vol. 11, no. 1, pp. 137-148. (In Russian) DOI: 10.18470/1992-1098-2016-1-137-148

ВВЕДЕНИЕ

Акватория Каспийского моря подвержена значительному антропогенному воздействию. Основными источниками углеводородов здесь традиционно считаются береговые и морские объекты нефтегазового комплекса, судоходство и речной сток (в основном сток р. Волги, приносящей около 80% всего объема речной воды в море).

Добыча нефти в российском секторе недропользования (РСНП) Каспийского моря, была начата в 2010 г. и к апрелю 2015 г. достигла суммарно 4 млн. тонн. В соседнем казахском секторе к 2020 г. нефтедобычу планируется увеличить с нынешних 80 до 120 млн. тонн в год. Это увеличение объемов добычи предполагается достичь за счет разработки трех не так давно разведанных месторождений: Тенгиз, Королевское и Кашаган, которое расположено в непосредственной близости от лицензионного участка российской нефтяной компании «ЛУКОЙЛ».

Танкерные и другие перевозки также существенно увеличивают риски нефтяного загрязнения северной части моря, на берегах которой расположено несколько довольно крупных портов. Например, грузооборот крупнейшего казахстанского порта Актау на восточном побережье достигало 12,81 млн. тонн в 2010 г., и 12,1 млн. тонн в 2011 г. Грузооборот российских портов составил 9,4 млн. тонн в 2011 г., и половина их приходилось на нефть и нефтепродукты. Принимая во внимание имеющиеся планы по увеличению нефтедобычи, даже если их реализация и будет отложена на время нынешним кризисом, в будущем следует ожидать увеличение рисков нефтяного загрязнения морской среды в этом районе.

Еще одним важным, но до настоящего времени недооцененным источником угле-

водородов на акватории северо-западной части Каспийского моря являются атмосферные выпадения. По крайней мере, загрязненный воздух является основным поставщиком многих пирогенных полиароматических углеводородов в морскую среду (см., например, [1]).

Помимо антропогенных источников углеводородов, в северо-западной части Каспийского моря существуют их естественные источники. Каспийское море является высокопродуктивным водоемом с биологической точки зрения. Населяющие его живые организмы продуцируют различные углеводороды, в том числе сходные с нефтяными. Наряду с имеющимися на акватории газовыми и нефтяными сипами [2], эти биогенные углеводороды формируют так называемый природный фон в морской среде [3, 4].

Несмотря на признание угрозы нефтяного загрязнения для экологии Каспийского моря, число комплексных исследований в этом районе невелико. В 2000-2001 гг. в рамках Каспийской экологической программы (КЭП) были проведены исследования накопления углеводородов в донных отложениях прибрежной зоны моря, опубликованные в работе [5]. Позднее, в 2004-2013 гг. Российская академия наук проводила исследования в дельте р. Волги и на глубоководной акватории Среднего и Южного Каспия [6-8]. Однако северная часть моря, и особенно ее западное побережье, практически не были затронуты.

Наши исследования частично закрывают этот пробел, поскольку сосредоточены на северо-западной части моря, в частности на ее прибрежной зоне, прилегающей к Дагестанскому побережью. Основной целью данной работы является оценка современно-



го уровня загрязнения углеводородами морской среды этой акватории и определение основных источников их поступления. В основу работы легло обобщение результатов

трехлетних исследований, проведенных в 2012-2014 гг. в рамках Программы Росгидромета по мониторингу трансграничных водных объектов Каспийского моря.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

За период 2012-2014 гг. было проведено 5 комплексных экспедиций, во время которых для определения углеводородов было отобрано 82 пробы воды с поверх-

ностного горизонта и 181 проба донных отложений. Схема отбора проб представлена на рис. 1.

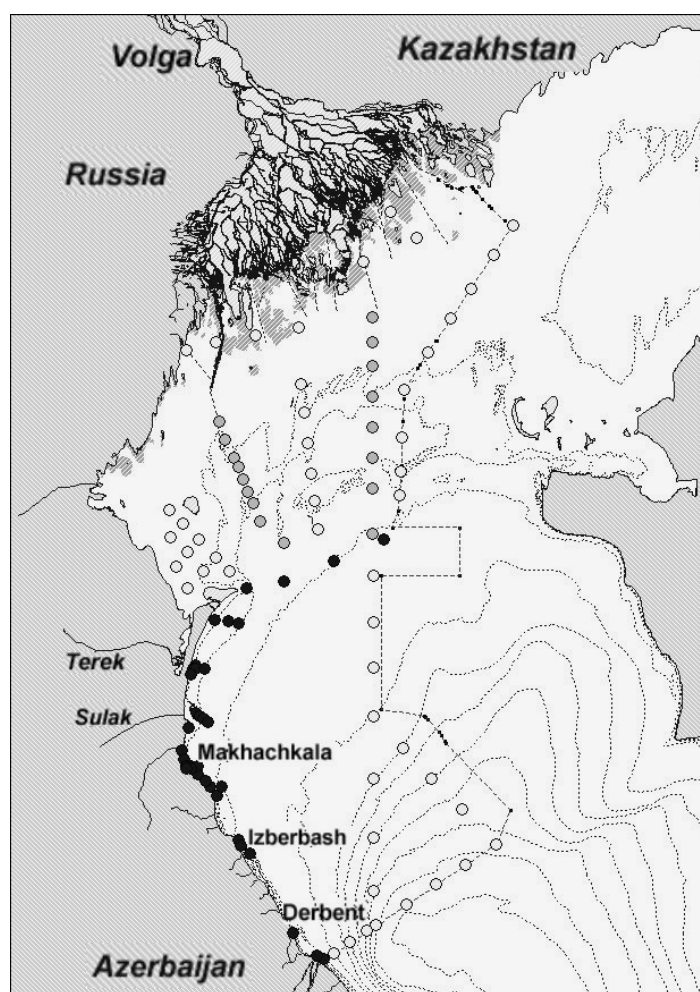


Рис. 1. Схема отбора проб в северо-западной части Каспийского моря (2012-2014 гг.)
Fig. 1. Sampling stations in the North-Western part of the Caspian Sea (2012-2014)

Отбор проб воды и донных отложений для определения содержания углеводородов, проводился в соответствии с РД 52.17.262.91, РД 52.10.556-95 «Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси».

Определение содержания полиароматических углеводородов (ПАУ) в воде и донных отложениях было проведено аккре-

дитованной лабораторией научно-производственного объединения (НПО) «Тайфун», общего содержания углеводородов (УВ) – аккредитованной лабораторией Астраханского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Концентрации УВ определялись методом инфракрасной (ИК) спектроскопии по РД 52.10.2343-92 (вода) и РД 52.10.556-95 (донные отложения), концентрации ПАУ – мето-



дом хромато-масс-спектрометрии на приборе Varian Saturn 3D GC/MS по методике М-МВИ-202-07.

Были определены концентрации следующих ПАУ: нафталин (Н), 1-метилнафталин (1-МН), 2-метилнафталин (2-МН), аценафтилен (АЦН), аценафтен (АЦ), флуорен (ФЛУ), фенантрен (Ф), антрацен (АН), флуорантен (ФЛ), пирен (П), бенз/а/антрацен (БАН), хризен (ХР), бенз/а/пирен (БаП), бенз/е/пирен (БеП), перилен (Пер), индено(1,2,3-сд)пирен (ИНД),

дибенз/а,х/антрацен (ДБАН), бенз(г,х,и)перилен (БПер), бенз/б/флуорантен, бенз/ж/флуорантен и бенз/к/флуорантен были измерены вместе как сумма БФЛ.

Проведение анализа сопровождалось метрологическим контролем точности результатов измерений в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.589-2001 «Государственная система обеспечения единства измерений. Контроль загрязнения окружающей природной среды».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

1. Углеводороды в воде северо-западной части Каспийского моря

Обычно концентрации углеводородов в незагрязненных водоемах могут варьировать в широких пределах: в морских водах – от 10 до 100 мкг/л и более, в реках и озерах – от 10 до 200 мкг/л. Для водных объектов с интенсивным развитием биоты или с наличием природных выходов нефти концентрации УВ в воде могут достигать 1000-1500 мкг/л. Для морей, омывающих

берега России, как правило, концентрации УВ в воде не превышают установленную величину ПДК (50 мкг/л), исключение составляют прибрежные воды, которые обычно более загрязнены, чем открытые акватории [6].

По нашим данным, в 2012-2014 гг. содержание УВ в воде северо-западной части Каспийского моря менялось от следов до 240 мкг/л (табл. 1).

Таблица 1

Концентрации углеводородов в воде северо-западной части Каспийского моря

Table 1

Concentrations of hydrocarbons in water in the North-Western part of the Caspian Sea

Показатель Indicator	2012-2014 гг, (данное исследование) (this study)	1998-2003 гг, [9]
Сумма углеводородов, мкг/л Total hydrocarbons, µg/l	<2,0-240	<2,0-427
ΣПАУ, нг/л ΣPAHs, ng/l	<1,0-321	1,1-686
Нафталин, нг/л Naphthalene, ng/l	<50-110	<50-621
Бензо/а/пирен, нг/л Benzo/a/pyrene, ng/l	<1,0	<1,0-2,7

Наибольшие величины отмечались в прибрежных водах Дагестанского побережья, вблизи Махачкалы и устьев Терека и Сулака. Для сравнения в таблице 1 также приведены данные, полученные для Северного Каспия в 1998-2003 гг. при проведении производственного экологического мониторинга перед началом разведочного бурения на лицензионных участках ОАО «ЛУКОЙЛ» [9].

Данные таблицы 1 показывают снижение концентраций углеводородов в воде к

настоящему времени. Концентрации УВ в этой части Каспийского моря в обоих случаях были ниже, чем концентрации в морской воде бухты Бохай в Китае (23,8-508 мкг/л) [10], но выше, чем в воде реки Шат Аль-Араб в Ираке (5,18-37,59 мкг/л) [11] и в воде водотоков нигерийских нефтяных месторождений (14-24 мкг/л) [12].

Суммарные концентрации ПАУ в воде в 2012-2014 гг. варьировали от следовых до 321 нг/л, при этом также были ниже отмеченных в 1998-2003 гг. (1,1-686 нг/л) (табл.



1). В обоих случаях в составе ПАУ превалировали нафталин и его алкилированные гомологи (метилнафталины). Поскольку сырая нефть содержит нафталин и полиарены его группы, которые быстрее всего разлагаются в морской среде, их присутствие на исследуемой акватории может свидетельствовать о наличии источника свежего нефтяного загрязнения [5, 8]. Концентрации бенз/а/пирена не превышали ПДК (5 нг/л), и в большинстве случаев не превышали предела обнаружения аналитического метода, как и большинство других полиаренов.

Суммарные концентрации ПАУ, полученные нами в 2012-2014 гг., были замет-

но выше, чем концентрации, наблюдавшиеся в воде реки Шат Аль-Араб (5,81 – 47,96 нг/л) [11], ниже, чем концентрации ПАУ в воде бухты Бохай (582,8-2208,3 нг/л) [10] и Александрийского побережья в Египте (2,21-677,25 нг/л) [13], при этом сравнимы с концентрациями, отмеченными прибрежных водах Сямынь в Китае (49,29-279,42 нг/л) [14]. В незагрязненных водах моря Герлаха в Антарктике Стортини с соавторами [15] наблюдали суммарное содержание ПАУ в пределах 5,27-9,43 нг/л, что в несколько раз ниже, чем на исследуемой акватории.

2. Углеводороды в донных отложениях северо-западной части Каспийского моря

В 2012-2014 гг. содержание УВ в донных отложениях также отличалось высокой пространственной неоднородностью, варьируя от 1 до 114 мкг/г (табл. 2) с наибольшими величинами в прибрежной зоне Дагестана и в районах судоходных трасс.

Как показывают данные, приведенные в работе [16], концентрации УВ в донных осадках Северного Каспия в период 1998-2003 гг. менялись от следов до 56,1 мкг/г, что существенно ниже, чем мы получили в 2012-2014 гг. В таблице 2 приведены для сравнения данные, полученные экспедицией КЭП в 2000-2001 гг. [5].

Величины концентраций УВ, наблюдавшиеся в 2012-2014 гг, все еще значительно ниже тех, что были обнаружены в осадках Азербайджанского (30-1820 мкг/г) и

Иранского (30-600 мкг/г) прибрежных вод. Фолькман с коллегами [17] предложили считать концентрации УВ в осадках, превышающие 500 мкг/г, индикатором значительного нефтяного загрязнения, а концентрации около 10 мкг/г и ниже – индикатором отсутствия загрязнения. Здесь следует отметить, что в 2012-2014 гг. Концентрации УВ в осадках не превышали 10 мкг/г в 40,4% проб.

Таким образом, величины концентраций УВ в донных отложениях северо-западной части Каспийского моря были выше тех, что наблюдались здесь ранее, показывая тем самым тенденцию к увеличению рисков углеводородного загрязнения этого района моря в последние годы. Однако эти величины пока еще сохраняются на уровне незагрязненных или слабозагрязненных районов.

Таблица 2

Концентрации углеводородов в донных отложениях Каспийского моря

Table 2

Total hydrocarbons concentrations in sediments of the Caspian Sea

Район Area	Период исследования Survey year	Концентрация (мг/г сухого веса) Concentration (µg/g dry weight)	Источник Reference
Северный Каспий, Россия Northern Caspian, Russia	1998-2003	<0,5-56,1	[16]
Северный Каспий, Россия Northern Caspian, Russia	2012-2014	1,0-114	Данное исследование this study
Северный Каспий, Россия Northern Caspian, Russia	2000	<0,5-30	[5]
Северный Каспий, Казахстан Northern Caspian, Kazakhstan	2001	<0,5-30	[5]
Южный Каспий, Азербайджан Southern Caspian, Azerbaijan	2000	30-1820	[5]



Южный Каспий, Иран Southern Caspian, Iran	2001	30-600	[5]
--	------	--------	-----

Суммарные концентрации ПАУ в донных отложениях исследуемой акватории в 2012-2014 гг. Варьировали от следовых до 699 нг/г. Как и в воде, в осадках доминировали нафталин и его алкилированные гомологи (табл. 3).

Максимальные суммарные концентрации были характерны для осадков западного побережья, устьев рек Сулак, Терек, Самур.

Поскольку в России пока не установлены стандарты качества донных отложений, мы использовали для оценки качества осадков исследуемого района канадские стандарты для морских донных осадков [18], которые также приводятся в таблице 3.

Данные таблицы 3 показывают, что концентрации нафталина, 2-метилнафталина и фенантрена превышают величины, допустимые стандартом ISQG [18]. Это свидетельствует о среднем уровне загрязнения, при котором вероятность негативных последствий для биоты достигает 19-23%.

Концентрации бенз/а/пирена достигали 5,4 нг/г в осадках Дагестанского побере-

жья, что намного меньше канадского стандарта для этого вещества. Ровинский с соавторами [19] приводит в качестве фоновых концентраций бенз/а/пирена для донных отложений незагрязненных водоемов России 1-5 нг/г. В промышленных районах его содержание значительно выше, например, Бег с соавторами [20] обнаружили в осадках промышленной зоны Шуайба в Кувейте концентрации этого полиарена, достигавшие 94,75 нг/г, а Техрани с коллегами [21], обследовавшие сильнозагрязненные осадки Персидского залива, отмечали в отдельных случаях 900 нг/г и выше.

Наши исследования показали, что остальные ПАУ в большинстве проб обнаруживались в минимальных количествах, часто ниже уровня обнаружения аналитического метода (табл. 3). Исключение, пожалуй, составляет только перилен, который в осадках Дагестанского побережья в отдельных случаях составлял почти 100% от суммы ПАУ, указывая на интенсивное разложение поступившего с суши терригенного материала [3].

Таблица 3

Концентрации ΣПАУ в донных отложениях северо-западной части Каспийского моря

Table 3

ΣPAHs concentrations in sediments of the North-Western part of the Caspian Sea

ПАУ (нг/г сухого веса) PAH (ng/g dry weight)	Диапазон Range	Среднее Mean	ISQG* [18]	PEL** [18]
Нафталин / Naphthalene	0-168	18,69	34,6	391
1-метилнафталин / 1-methylnaphtalene	0-107	11,87	-	-
2-метилнафталин / 2-methylnaphtalene	0-166	16,94	20,2	201
Аценафтилен / Acenaphthylene	0-2,98	0,24	5,87	128
Аценафтен / Acenaphthene	0-4,19	0,37	6,71	88,9
Флуорен / Fluorene	0-21,6	1,71	21,2	144
Фенантрен / Phenanthrene	0-115,8	6,12	86,7	544
Антрацен / Anthracene	0-10,8	0,75	46,9	245
Флюорантен / Fluoranthene	0-25,6	3,9	113	1494
Пирен / Pyrene	0-43,7	4,34	153	1398
Бенз/а/антрацен / Benzo/a/anthracene	0-33,3	1,8	74,8	693
Хризен / Chrysene	0-36,8	2,63	108	846
БФЛ / BbF+BjF+BkF	0-55,1	3,77	-	-
Бенз/е/пирен / Benzo/e/pyrene	0,6-28,4	2,94	-	-
Бенз/а/пирен / Benzo/a/pyrene	0-13,1	1,32	88,8	763



Перилен / Perylene	0-257	18,48	-	-
Индено(1,2,3-сд)пирен / Indeno(1,2,3-сd)pyrene	0-3,11	0,92	-	-
Дибенз(а,һ)антрацен / Di-benzo(a,h)anthracene	0-5,2	0,06	6,22	135
Бенз(г,һ,і)перилен / Benzo(g,h,i)perylene	0-16,6	1,47	-	-
ΣПАУ / ΣРАН	1,5-699	84,66	-	-

*ICQG (Interim sediment quality guidelines) – стандарт качества донных отложений
(допустимая концентрация)

**PEL (Probable effect level) – уровень вероятных негативных последствий

Сравнение данных, полученных нами в 2012-2014 гг., с данными экспедиции КЭП 2000-2001 гг. [5], показал, что суммарное содержание ПАУ в осадках РСНП также увеличилось по сравнению с началом 2000-х гг., когда они были на уровне 6-345 нг/г. Однако оно все еще ниже концентраций ПАУ в осадках азербайджанской (338-2988 нг/г) и иранской (94-1789 нг/г) прибрежных зон.

Суммарные концентрации ПАУ в период 2012-2014 гг. также ниже концентраций, обнаруженных в осадках дельтовых водотоков Волги (3,4-1057 нг/г) [6] и прилегающей мелководной зоны устьевого взморья (3,85-4800 нг/г) [7], но выше величин, обнаруженных И.А. Немировской с коллегами [8] в открытой зоне моря (19-42 нг/г).

Содержание ПАУ в осадках северо-западной части Каспия было также ниже концентраций, характерных для районов с высокой антропогенной нагрузкой: Амурского залива [22], прибрежных вод Баренце-

ва моря [23], Персидского залива [21] и промышленной зоны Кувейта [20] (табл. 4).

Идентификация происхождения углеводородов на Каспии – это сложная задача из-за наличия многочисленных антропогенных и природных источников. Последние включают нефтяные и газовые сипы на морском дне [2], а также поступление в морскую среду углеводородов, продуцируемых биотой, которой чрезвычайно богата именно северная мелководная часть моря. Разложение биотой автохтонной и аллохтонной органики также приводит к выделению углеводородов [3].

Для идентификации источников часто используются молекулярные маркеры ПАУ [5, 24]. Например, величина соотношения концентраций фенантрена и антрацена (Ф/АН) больше 10 указывает на присутствие петрогенных ПАУ и интенсивный диагенез. Соотношение концентраций нафталина и фенантрена (Н/Ф) больше 1 маркирует поступление свежих, неветренных нефтепродуктов.

Таблица 4

Концентрации ΣПАУ в донных отложениях разного местонахождения
(нг/г сухого веса)

Table 4

ΣPAHs concentrations in sediments from different locations (ng/g dry weight)

Место исследования Survey area	Год исследования Survey year	Концентрация Concentration	Источник Reference
Северный Каспий, Россия Northern Caspian, Russia	2012-2014	<0,03-699	Данное исследование This study
Амурский залив, Японское море Amur Bay, Japan Sea	2005	7,2-1100	[22]
Баренцево море, Норвегия и Россия Barents Sea, Norway and Russia	2001-2005	27-6026	[23]



По нашим данным, отношение Ф/АН варьирует от 0 до 68,12 (с максимумом в прибрежной зоне Дагестана) и свидетельствует о присутствии в осадках УВ нефтяного происхождения и их активной трансформации в диагенетических процессах. В других районах присутствуют ПАУ пирогенного происхождения, образующиеся при неполном сгорании топлива и обычно поступающие в осадки с атмосферными выпадениями [19]. Отношение Н/Ф для осадков исследуемой акватории менялось от 0 до 10,4, что указывает на присутствие невыветренных нефтепродуктов, которые могут поступать в морскую среду как из антропогенных (нефтяные разливы), так и природных

источников (высачивание из осадочной толщи). Доля перилена в общей сумме ПАУ маркирует обогащение донных осадков терригенным материалом (обычно растительного происхождения). Выше уже говорилось, что на исследуемой акватории наибольшая доля перилена отмечалась в осадках прибрежной зоны Дагестана, где на некоторых станциях этот полиарен составлял почти 100% суммы ПАУ.

Таким образом, анализ молекулярных маркеров подтверждает смешанное происхождение углеводородов в осадках исследуемой акватории, ранее установленное в работах [5-8, 16].

3. Спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения северо-западной части Каспийского моря

Спутниковый мониторинг нефтяного загрязнения на акватории лицензионных участков ОАО «ЛУКОЙЛ» ведется с 2010 г. специалистами ИТЦ «СКАНЭКС», который имеет лицензию для получения радиолокационных (РЛИ) снимков со спутников RADARSAT и COSMO-SkyMed. Эти спутники оборудованы радаром с синтезированной

апертурой (РСА), позволяющими получать снимки высокого качества для обнаружения разливов нефти и нефтепродуктов на море.

В 2010-2013 гг. были получены и обработаны 734 снимка, на 192 из них (26%) были обнаружены пленочные загрязнения. Большинство из них концентрируются вдоль существующих навигационных трасс и вблизи морских портов и, скорее всего, являются разливами нефти или нефтепродуктов/нефтезагрязненных отходов (рис. 2).

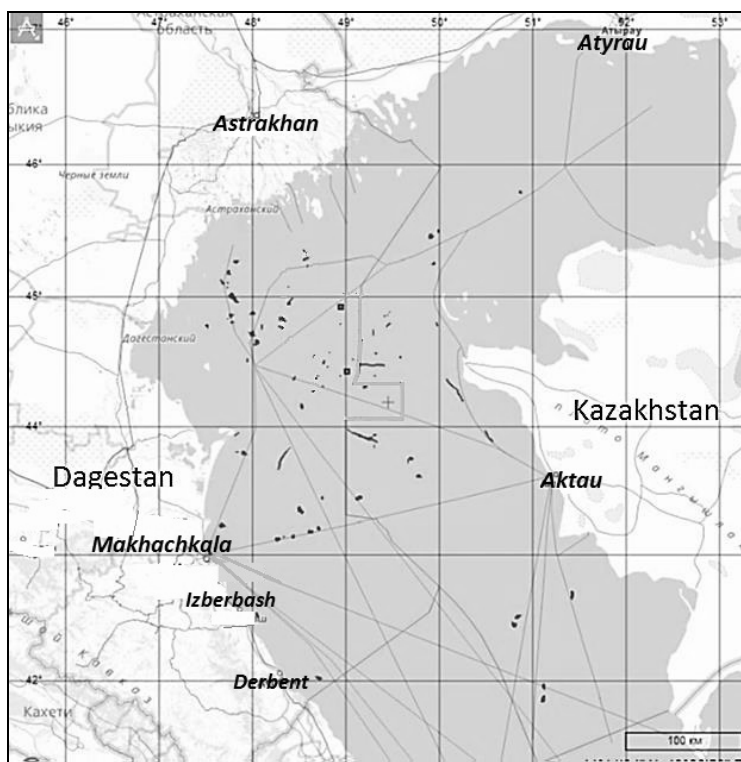


Рис. 2. Интегральная карта пленочных загрязнений, полученных с помощью РЛИ снимков в 2013 г. (© «СКАНЭКС» 2013)



* светло-серыми линиями обозначены основные судоходные трассы

Fig. 2. Integral map of oil slicks, obtained by SAR imaging in 2013 (© «SCANEX» 2013)

* light grey lines indicate main shipping routes

Некоторые небольшие пленки, обнаруженные вдали от судоходных трасс детектируются как вероятные грифонные слики, однако точная идентификация их происхождения требует более детального анализа с привлечением данных геологических и геохимических исследований.

В целом, анализ данных спутникового мониторинга показывает, что основным ис-

точником свежего нефтяного загрязнения в открытом море и вблизи портов являются сбросы с судов (аварийные или намеренные).

В таблице 5 приводится количество разливов, обнаруженных в 2010-2013 гг. и идентифицированных как сбросы с судов разного рода нефтепродуктов и нефтесодержащих отходов (льяльных вод и т.п.).

Таблица 5

Количество РЛИ снимков за год с судовыми разливами нефти/нефтепродуктов и площадь разливов в 2010-2013 гг.

Table 5

The number of SAR images with oil/refined products spilled from ships and total area of spills in 2010-2013

Год Year	Количество изображений с разливами с судов Number of images with spills from ships	Площадь разлива, кв. км Area of spills, sq. km
2010	47 (41,6%)	99,36
2011	51 (27%)	215,85
2012	47 (20,5%)	174,95
2013	47 (23%)	107,67

* В скобках -% от общего числа РСА изображений, сделанных в год

* in brackets - % of total number of SAR images made in a year

Принимая во внимание примерную среднюю поверхностную плотность сырой нефти 62 т/ км² [25], можно приблизительно оценить ежегодное поступление нефтепро-

дуктов в морскую среду в этом районе Каспия в несколько тысяч тонн только от судовых сбросов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в 2012-2014 гг. в рамках Программы Росгидромета по трансграничному мониторингу Каспийского моря исследования позволили оценить современный уровень загрязнения морской среды РСНП углеводородами. Концентрации этих веществ в воде и донных отложениях исследуемой акватории оказались выше тех, что наблюдались в этом районе десятилетием ранее, однако пока еще характерны для незагрязненных и слабозагрязненных водных объектов.

Повышенным содержанием УВ отличалась прибрежная зона Дагестана, где расположены портовая и нефтеперевалочная инфраструктура, а также нефтеперерабатывающие производства. Относительно высокие концентрации углеводородов были об-

наружены и в открытом море в районах оживленных судоходных трасс.

Идентификация источников УВ в данном районе подтвердила выводы ранее проведенных исследований об их смешанном происхождении. Часть УВ, несомненно, имеет петрогенное происхождение. Молекулярные маркеры указывают на присутствие в этом районе источников свежего нефтяного загрязнения, которыми могут быть нефтяные разливы и высачивания из осадочной толщи. Данные спутникового мониторинга показывают, что основным источником нефтяных разливов в настоящее время являются судовые сбросы нефтепродуктов в морскую среду. Помимо нефтяных в морской среде присутствуют УВ пирогенного и диагенетического происхождения.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nizetto L., Lohmann R., Gioia R., Jahnke A., Temme C., Dachs J., Herckes P., Di Guardo A., Jones K.C. PAHs in air and seawater along a NorthSouth Atlantic transect: Trends processes and possible sources // *Environ. Sci. Technol.* 2008, no. 42, pp. 1580-1585.
2. Bezrodnikh Yu.P., Deliya S.V., Lavrushin V.Yu., Yunin E.A., Poshibaev V.V., Pokrovskii B.G. Gas seeps in the North Caspian water area // *Lithology and Mineral Resources*. 2013, no. 48(5), pp. 373-383.
3. Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). Москва: Научный мир, 2013. 432 с.
4. Kvenvolden K.A., Cooper S.K. Natural seepage of crude oil into the marine environment. *GeoMar. Letters*. 2003, no. 23, pp. 140-146.
5. Tolosa I., de Mora S., Sheikholeslami M. R., Ville-neuve J. P., Bartocci J., Cattini C. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in coastal Caspian Sea sediments. *Marine Pollution Bulletin*. 2004, no. 48, pp. 44-60.
6. Nemirovskaya I.A., Brekhovskikh V.F. Hydrocarbons in bottom sediments of the marginal filter of the Volga River. *Doklady Akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*. 2006, N406(1), pp. 97-102.
7. Nemirovskaya I.A., Brekhovskikh V.F. Origin of hydrocarbons in the particulate matter and bottom sediments of the northern shelf of the Caspian Sea. *Okeanologiya [Oceanology]*. 2008, N48(1), pp. 43-53.
8. Nemirovskaya I.A., Kozina N.V., Lisitzin A.P. Origin of hydrocarbons in the contemporary sediments of the Caspian Sea. *Doklady Akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*. 2014, N459(2), pp. 1559-1564.
9. Островская Е.В., Монахов С.К., Кашин Д.В., Непоменко Л.Ф., Попова Н.В., Татарников В.О. Загрязняющие вещества в водах Северного Каспия / Проблемы качества вод Нижней Волги и Северного Каспия. Москва: Россельхозакадемия, 2013. С. 200-238.
10. Li P., Cao J., Diao X., Wang B., Han Q., Zheng P., Li Yu. Spatial distribution sources and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface seawater from Yangpu Bay China // *Marine Pollution Bulletin*. 2015, N93, pp. 53-60.
11. Al-Hejje M.M., Hussain N.A., Al-Saad H.T. Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs) n-alkanes and Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in water of Shatt Al-Arab River – part 1 // *Global Journal of Biology Agriculture and Health Sciences*. 2015, N4(1), pp. 88-94.
12. Ololade I.A., Lajide L., Amoo I.A. Spatial trends of petroleum hydrocarbons in water and sediments // *Central European Journal of Chemistry*. 2009, N7(1), pp. 83-89.
13. Shreadah M., Moneim M., Said T., Fathallah E., Mahmoud M. PAHs in Seawater of the Semi-Closed Areas along the Alexandria Coast of Egyptian Mediterranean Sea // *Journal of Environmental Protection*. 2013, N4(11), pp. 1307-1317. doi: 10.4236/jep.2013.411152
14. Ya M.L., Wang X.H., Wu Y.L., Ye C.X., Li Y.Y. Enrichment and partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sea surface microlayer and subsurface water along the coast of Xiamen Island China // *Marine Pollution Bulletin*. 2015, N78(12), pp. 110-117.
15. Stortini A.M., Martellini T., Del Bubba L., Lepri L., Capodaglio G., Cincinelli A. n-Alkanes PAHs and surfactants in the sea surface microlayer and sea water samples of the Gerlache Inlet sea (Antarctica) // *Microchemical Journal*. 2009, N92(1), pp. 37-43.
16. Островская Е.В., Монахов С.К., Кашин Д.В., Непоменко Л.Ф., Попова Н.В., Татарников В.О. Загрязнение донных отложений Северного Каспия // Проблемы качества вод Нижней Волги и Северного Каспия. Москва: Россельхозакадемия, 2013. С. 239-260.
17. Volkman J.K., Holdsworth D.G., Neill G.P., Bavor Jr., H.J. Identification of natural anthropogenic and petroleum hydrocarbons in aquatic environments // *Science of the Total Environment*. 1992, N112, pp. 203-219.
18. CCME (Canadian Council of the Ministers of the Environment). Canadian Environmental Quality Guidelines Winnipeg, 2001. Available at: <http://stts.ccme.ca/en/index.html>. (accessed 24.08.2015).
19. Ровинский Ф.Я., Теплицкая Т.А., Алексеева Т.А. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. 224 с.
20. Beg M.U., Saeed T., Al-Muzaini S., Beg K.R., Al-Bahloul M. Distribution of petroleum hydrocarbon in sediment from coastal area receiving industrial effluents in Kuwait // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2003, N54, pp. 47-55.
21. Tehrani G.M., Hashim R., Sulaimani A.H., Sany B.T., Salleh A., Jazani R.Kh., Savari A., Barandousi R. Distribution of total petroleum hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons in Musa Bay sediments (Northwest of the Persian Gulf) // *Environmental Protection Engineering*. 2013, N39(1), pp. 116-128.
22. Немировская И.А. Углеводороды в воде и донных осадках в районе постоянного нефтяного загрязнения // *Геохимия*. 2007. N7. С. 704-717.
23. Dahle S., Savinov V., Klungsoyr J., Boitsov S., Plotitsyna N., Zhilin A., Savinova T., Petrova V. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Barents Sea sediment: Small changes over the recent 10 years // *Marine Biology Research*. 2009, N5(1), pp. 101-108.
24. Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R., Mitchell R.H., Goyette D., Sylvestre S. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition // *Organic Geochemistry*. 2002, no. 33, pp. 489-515.
25. Боев А.Г., Матвеев А.Я. Оценка количества разлитой нефти на акватории каспийского промысла "Нефтяные камни" по данным многочастотного радиолокационного зондирования // *Радиофизика и радиоастрономия*. 2005. Т.11, N2. С. 178-188.



REFERENCES

1. Nizetto L., Lohmann R., Gioia R., Jahnke A., Temme C., Dachs J., Herckes P., Di Guardo A., Jones K.C. PAHs in air and seawater along a North-South Atlantic transect: Trends processes and possible sources. *Environ. Sci. Technol.* 2008, no. 42, pp. 1580-1585.
2. Bezrodnikh Yu.P., Deliya S.V., Lavrushin V.Yu., Yunin E.A., Poshibaev V.V., Pokrovskii B.G. Gas seeps in the North Caspian water area. *J Lithology and Mineral Resources.* 2013, no. 48(5), pp. 373-383.
3. Nemirovskaya I.A. *Neft' v okeane (zagriznenie i prirodnye potoki)* [Oil in the ocean (pollution and natural flow)]. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2013. 432 p. (In Russian)
4. Kvenvolden K.A., Cooper S.K. Natural seepage of crude oil into the marine environment. *GeoMar. Letters.* 2003, no. 23, pp. 140-146.
5. Tolosa I., de Mora S.J., Fowler S.W., Villeneuve J.P., Bartocci J., Cattini Ch. Aliphatic and aromatic hydrocarbons in marine biota and coastal sediments from the Gulf and the Gulf of Oman. *Marine Pollution Bulletin.* 2006, no. 50(12), pp. 1619-1633.
6. Nemirovskaya I.A., Brekhovskikh V.F. Hydrocarbons in bottom sediments of the marginal filter of the Volga River. *Doklady Akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*. 2006, no. 406(1), pp. 97-102.
7. Nemirovskaya I.A., Brekhovskikh V.F. Origin of hydrocarbons in the particulate matter and bottom sediments of the northern shelf of the Caspian Sea. *Okeanologiya [Oceanology]*. 2008, no. 48(1), pp. 43-53.
8. Nemirovskaya I.A., Kozina N.V., Lisitzin A.P. Origin of hydrocarbons in the contemporary sediments of the Caspian Sea. *Doklady Akademii nauk [Doklady Earth Sciences]*. 2014, no. 459(2), pp. 1559-1564.
9. Ostrovskaya E.V., Monakhov S.K., Kashin D.V., Nepomenko L.F., Popova N.V., Tatarnikov V.O. *Zagriznjajushhie veshchestva v vodah Severnogo Kaspija* [Pollutants in waters of the Northern Caspian]. *Problemy kachestva vod Nizhnej Volgi i Severnogo Kaspija* [Waters quality problems in the Lower Volga and the Northern Caspian]. Moscow, Russian Academy of Agricultural Sciences Publ., 2013, pp. 200-238. (In Russian)
10. Li P., Cao J., Diao X., Wang B., Han Q., Zheng P., Li Yu. Spatial distribution sources and ecological risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in surface seawater from Yangpu Bay China. *Marine Pollution Bulletin.* 2015, no. 93, pp. 53-60.
11. Al-Hejje M.M., Hussain N.A., Al-Saad H.T. Total Petroleum Hydrocarbons (TPHs) n-alkanes and Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in water of Shatt Al-Arab River – part 1. *Global Journal of Biology Agriculture and Health Sciences.* 2015, no. 4(1), pp. 88-94.
12. Ololade I.A., Lajide L., Amoo I.A. Spatial trends of petroleum hydrocarbons in water and sediments. *Central European Journal of Chemistry.* 2009, no. 7(1), pp. 83-89.
13. Shreadah M., Moneim M., Said T., Fathallah E., Mahmoud M. PAHs in Seawater of the Semi-Closed Areas along the Alexandria Coast of Egyptian Mediterranean Sea. *Journal of Environmental Protection.* 2013, no.4(11), pp. 1307-1317. doi: 10.4236/jep.2013.411152
14. Ya M.L., Wang X.H., Wu Y.L., Ye C.X., Li Y.Y. Enrichment and partitioning of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sea surface microlayer and subsurface water along the coast of Xiamen Island China. *Marine Pollution Bulletin.* 2015, no. 78(12), pp. 110-117.
15. Stortini A.M., Martellini T., Del Bubba L., Lepri L., Capodaglio G., Cincinelli A. n-Alkanes PAHs and surfactants in the sea surface microlayer and sea water samples of the Gerlache Inlet sea (Antarctica). *Microchemical Journal.* 2009, no. 92(1), pp. 37-43.
16. Ostrovskaya E.V., Monakhov S.K., Kashin D.V., Nepomenko L.F., Popova N.V., Tatarnikov V.O. *Zagriznenie donnyh otlozhenij Severnogo Kaspija* [Pollution of bottom sediments of the Northern Caspian]. *Problemy kachestva vod Nizhnej Volgi i Severnogo Kaspija* [Waters quality problems in the Lower Volga and the Northern Caspian]. Moscow, Russian Academy of Agricultural Sciences Publ., 2013, pp. 239-260. (In Russian)
17. Volkman J.K., Holdsworth D.G., Neill G.P., Bavor Jr., H.J. Identification of natural anthropogenic and petroleum hydrocarbons in aquatic environments. *Science of the Total Environment.* 1992, no.112, pp. 203-219.
18. CCME (Canadian Council of the Ministers of the Environment). Canadian Environmental Quality Guidelines Winnipeg, 2001. Available at: <http://stts.ccme.ca/en/index.html>. (accessed 24.08.2015).
19. Rovinsky F.Ya., Teplitskaya T.A., Alexeeva T.A. *Fonovyi monitoring policiklicheskich aromaticskekh uglevodorodov* [Background Monitoring of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1988, 224 p. (In Russian)
20. Beg M.U., Saeed T., Al-Muzaini S., Beg K.R., Al-Bahloul M. Distribution of petroleum hydrocarbon in sediment from coastal area receiving industrial effluents in Kuwait. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* 2003, no. 54, pp. 47-55.
21. Tehrani G.M., Hashim R., Sulaimani A.H., Sany B.T., Salleh A., Jazani R.Kh., Savari A., Barandousi R. Distribution of total petroleum hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons in Musa Bay sediments (Northwest of the Persian Gulf). *Environmental Protection Engineering.* 2013, no. 39(1), pp.116-128.
22. Nemirovskaya I.A. Hydrocarbons in the water and bottom sediments of a region with continuous petroleum contamination. *Geokhimiya [Geochemistry International]*. 2007, no. 45(7), pp. 638-651. (In Russian)
23. Dahle S., Savinov V., Klungsoyr J., Boitsov S., Plotitsyna N., Zhilin A., Savinova T., Petrova V. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the Barents Sea sediment: Small changes over the recent 10 years. *Marine Biology Research.* 2009, no. 5(1), pp. 101-108.
24. Yunker M.B., Macdonald R.W., Vingarzan R., Mitchell R.H., Goyette D., Sylvestre S. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry.* 2002, N33, pp. 489-515.



25. Boev A.G., Matveev A.Ya. Estimation of the oil volume spilled into water at production site "Nefjtjanye kamni" by plans of multifrequent radar imaging. Radiofizika

i radioastronomiya [Radiophysics and radioastronomy]. 2005, no. 2(11), pp. 178-188. (In Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Принадлежность к организации

Елена В. Островская* - кандидат географических наук, заместитель директора, ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», тел. +7(8512) 30-25-45, ул. Ширяева, 14, Астрахань, Россия, e-mail: eostrovskaya@mail.ru, kaspnmiz@mail.ru

Евгений В. Колмыков – ведущий инженер по охране окружающей среды, отдел экологии, ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть», Астрахань, Россия.

Оксана И. Холина - научный сотрудник, лаборатория гидрохимии и экологии, ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», Астрахань, Россия

Татьяна С. Пронина - младший научный сотрудник, лаборатория гидрохимии и экологии, ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», Астрахань, Россия.

Мария В. Войнова – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, лаборатория гидрохимии и экологии, ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр», Астрахань, Россия.

Критерии авторства

Татьяна С. Пронина и Мария В. Войнова провели обработку и первичный анализ экспедиционных материалов, провели расчеты и подготовили табличный материал. Евгений В. Колмыков проанализировал данные спутникового мониторинга. Оксана И. Холина подготовила обзор литературных источников по теме исследования. Елена В. Островская составила план исследования, проанализировала данные, написала рукопись и несет ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 15.12.2015

AUTHOR INFORMATION

Affiliations

Elena Ostrovskaya* - PhD in Geography, Deputy Director, FSBI "Caspian Marine Scientific Research Center", phone: +7 (8512) 30-25-45, Shiryayeva St. 14, Astrakhan, Russia, e-mail: eostrovskaya@mail.ru, kaspnmiz@mail.ru

Evgeniy V. Kolmykov - lead engineer for environment protection, the Department of Ecology, LLC "LUKOIL-Nizhnevolzhskneft", Astrakhan, Russia.

Oksana I. Kholina – research officer, the laboratory of hydrochemistry and ecology, FSBI "Caspian Marine Scientific Research Center", Astrakhan, Russia.

Tatiana S. Pronina - junior research officer, the laboratory of hydrochemistry and ecology, FSBI "Caspian Marine Scientific Research Center", Astrakhan, Russia.

Maria V. Voinova – PhD in biology, senior research officer, the laboratory of hydrochemistry and ecology, FSBI "Caspian Marine Scientific Research Center", Astrakhan, Russia.

Contribution

Tatyana S. Pronina and Maria V. Voinova treated and preliminarily analysed monitoring data, made calculations, figures and tables. Evgeniy V. Kolmykov analysed data from the satellite monitoring. Oksana I. Kholina prepared the literature review on the study topic. Elena V. Ostrovskaya planned the whole study, analysed data, prepared the manuscript and takes the responsibility for plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 15.12.2015