

Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 3 (86). С. 106–117.
Geology, geography and global energy. 2022; 3(86):106–117 (In Russ.).

Научная статья
УДК 551.7(470.62)
doi 10.54398/20776322_2022_3_106

**СОВМЕСТНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА
ПЛЕНОЧНЫХ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И ПОДСПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
УГЛЕВОДОРОДОВ В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

Алина Георгиевна Александрова^{1✉}, Андрей Юрьевич Иванов²

^{1,2}Институт океанологии им. Ширшова РАН, Москва, Россия

¹osh.morgeo@mail.ru✉

²ivanof@ocean.ru

Аннотация. Углеводородное загрязнение является одним из главных факторов антропогенного воздействия на морские экосистемы Арктики, а углеводороды в составе нефтей и нефтепродуктов относятся к наиболее опасным загрязняющим веществам Мирового океана. С целью получения распределения содержания углеводородов в Баренцевом море проведен анализ результатов спутникового мониторинга пленочных нефтяных загрязнений и квазисинхронных судовых измерений углеводородов в море. Данные о нефтяном загрязнении были получены в рамках радиолокационного мониторинга проведенного с помощью спутников Sentinel-1 в 2015–2020 гг., по результатам которого была получена карта многолетнего интегрального распределения пятен пленочных/нефтяных загрязнений на поверхности моря. Анализ подспутниковых данных содержания углеводородов позволил сопоставить данные космической радиолокационной съемки, в целом показав их положительное соответствие.

Ключевые слова: Баренцево море, углеводороды, нефтепродукты, радиолокационное зондирование, судовые измерения, нефтяное загрязнение

Для цитирования: Александрова А. Г., Иванов А. Ю. Общая интерпретация результатов спутникового мониторинга пленочных нефтяных загрязнений и подспутниковых измерений углеводородов в Баренцевом море // Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 3 (86). С. 106–117. https://doi.org/10.54398/20776322_2022_3_106.

**JOINT ANALYSIS OF REMOTE SENSING DATA ON OIL POLLUTION BY SUBSATELLITE SHIP
MEASUREMENTS OF HYDROCARBONS IN THE BARENTS SEA**

Alina G. Alexandrova^{1✉}, Andrey Yu. Ivanov²

^{1,2}Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

¹osh.morgeo@mail.ru✉

²ivanof@ocean.ru

Abstract. Hydrocarbon pollution is one of the main factors of anthropogenic impact on the marine ecosystems of the Arctic, as hydrocarbons are among the most dangerous pollutants of the World Ocean. The results of satellite radar monitoring of oil spills distribution in the Barents Sea (2015–2020) and the results of ship-based measurements of hydrocarbons (HC) are correlated in an integral map. Sentinel-1A data (RSI) were provided by SCANEX/ ESA.

Keywords: oil spills, satellite monitoring, SAR images, GIS approach, oil pollution maps.

For citation: Alexandrova A.G., Ivanov A.Yu. General interpretation of the results of satellite monitoring of film oil pollution and sub-satellite measurements of hydrocarbons in the Barents Sea. *Geology, geography and global energy*. 2022; 3(86):106–117 (In Russ.). https://doi.org/10.54398/20776322_2022_3_106.

Баренцево море, расположенное на шельфе Северного Ледовитого океана и непосредственно связанное с водами Северной Атлантики, имеет специфические климатические условия, определяющие его большую ледовитость на севере и востоке и свободную ото льда юго-западную часть моря, куда происходит поступление атлантических вод. Ледовый режим Баренцева моря играет весьма важную роль для этой морской системы и в значительной степени определяет особенности седиментации в арктических морях в целом.

Кроме того, Баренцево море имеет важное транспортное и рыбо-хозяйственное значение, здесь находится значительная часть промышленных объектов Российской Федерации, крупные порты, в том числе Мурманск, в море проходит Северный морской путь (СМП), российско-норвежская морская граница – обе страны осуществляют активную хозяйственную деятельность.

Арктический шельф России в настоящее время характеризуется низким уровнем освоения нефтегазовых ресурсов, при этом, развитие шельфовых месторождений – наиболее значимое направление развития нефтедобывающей отрасли. Доминирующая часть извлекаемых ресурсов углеводородов (УВ) относится к недрам арктических морей и преимущественно – Карского, Баренцева и Печорского [1].

В море осуществляется круглогодичная перевалка нефти на морских терминалах (Варандей, а также в районе о. Колгуев), выполнение всех технологических операций, включая бурение, добычу, хранение нефти, подготовку и отгрузку нефти МЛСП «Приразломная». Кроме того, начиная с 2010-х гг., объемы транспортировки нефти и нефтепродуктов морем резко возросли. В этой связи баренцевоморский морской нефтегазовый комплекс (МНГК) начинает играть всё большую роль в регионе и возрастает актуальность мониторинга состава вод и состояния полярных экосистем в присутствии МНГК.

Нефтепродукты (НП) или нефтяные углеводороды относятся к числу наиболее распространенных загрязнителей морской среды [2].

Геохимическая обстановка накопления может накладывать свой отпечаток в распределении УВ. В современных и голоценовых отложениях широко развиты процессы аутигенного минералообразования в зависимости от окислительно-восстановительных условий и от скорости биогеохимических реакций [3].

Обычно увеличение концентраций УВ у дна наблюдается в прибрежных районах с тонкодисперсными осадками и рассматривается как результат эрозии дна и ресуспензирования [14]. Повышенные значения в распределении УВ в придонном горизонте могут быть обусловлены активной гидродинамикой придонных вод [15], способствующей взмучиванию поверхностного слоя донных осадков. Наибольшая изменчивость в распределении УВ в водах моря происходят в геохимических барьерных зонах, в слое пикноклина, на границах раздела, в том числе, на границе «вода – донные осадки», при этом их часть сорбируется взвесью [4]. Вносят свой вклад морские течения и гидрологические фронты: в прибрежных районах моря экологически значима адвекция загрязняющих веществ с водами Норвежского прибрежного течения и со стоками Мурманского промышленного узла через Кольский и Мотовский заливы, губу Печенга и др. [5]. Сток рек, главным образом, р. Печоры также обуславливает образование системы стоковых течений, определяющих распределение загрязняющих веществ в море [6].

С учетом природного УВ фона и высачивания из осадочной толщи, в составе УВ могут присутствовать техногенные компоненты, попадающие в водную среду и донные осадки с нефтью и нефтепродуктами при загрязнении ими акваторий [16]. Изучение распределения пленочных загрязнений на поверхности моря и распределения и генезиса УВ в водах и осадках Баренцева моря становится актуальной задачей в рамках геоэкологического контроля и мониторинга.

Кроме того изучение распределения УВ в донных осадках может служить основой для последующего геоэкологического контроля при разведочных и добычных работах. При этом также необходимо учитывать природный углеводородный фон,

возникающий вследствие жизнедеятельности фитопланктона и высачивания УВ из осадочной толщи [7; 17; 18].

Пространственное содержание УВ обусловлено указанными гидробиологическими и геохимическими процессами в каждом конкретном районе.

В настоящее время, обнаружение, мониторинг и контроль нефтяных загрязнений поверхности моря проводится методами дистанционного зондирования и при этом важную роль играют радиолокаторы с синтезированной апертурой (РСА), установленные на искусственных спутниках Земли (ИСЗ). Эффективность применения космической радиолокационной (РЛ) спутниковой съемки в полярных и субполярных широтах была продемонстрирована неоднократно [8–10], в том числе при мониторинге пленочных загрязнений Кольского залива.

С целью изучения изменчивости распределения содержания УВ в море в данной работе совместно анализируются результаты радиолокационного спутникового мониторинга, проведенного в 2015–2020 гг. для обнаружения загрязнения Баренцева моря нефтью и нефтепродуктами, и данные подспутниковых контактных измерений УВ.

Мониторинг пленочных/нефтяных загрязнений Баренцева моря основан на сборе и анализе радиолокационных изображений (РЛИ) европейских спутников Sentinel-1A и Sentinel-1B, покрывающих Баренцево море. На данных спутниках установлены радиолокаторы – РСА, позволяющие получать РЛИ морской поверхности всепогодно т. е. независимо от освещенности, состояния атмосферы и наличия облачности, что является важным преимуществом в физико-географических условиях моря.

РЛИ спутников Sentinel-1 в Баренцевом море в 2015–2020 гг. были получены в режимах съемки Interferometric Wide Swath и Extra Wide с пространственным разрешением 10 и 40 м, полосой обзора 250 и 400 км, соответственно. В зависимости от полосы обзора Баренцево море покрывалось от 18 до 22 РЛИ ежедневно.

Нефть (нефтепродукты, прочие маслянистые вещества) на поверхности моря образуют нефтяные пленки, создают области выглаживания (слики) и отображаются темным тоном – создают темные пятна на РЛИ соответствующих форм и размеров. Примеры фрагментов РЛИ с пятнами различного происхождения приведены на рисунке 1а–1с.

Для работы с данными РЛ-съемки использовалось веб-ГИС приложение «Гео-миксер» (разработки ГК «СКАНЭКС») и специально созданный для этих целей баренцевоморский геопортал. На нем, помимо массива РЛИ, было собрано большое количество физико-географических данных, характеризующих Баренцево море, представленных в виде векторных или растровых слоев [10].

Для полноценного анализа РЛИ портал был пополнен данными о батиметрии моря, нефтегазоносности, инфраструктуре МНГК и данными автоматических систем идентификации судов (АИС). Возможности геопортала позволили эффективно использовать преимущества ГИС-подхода и применять соответствующую методику [8] для выявления пленочных загрязнений и их источников, благодаря объединению различных данных (разновременных РЛИ, данных о ветре и АИС), интерактивной обработке и анализу.

Подспутниковым материалом для данного исследования послужили данные, полученные в экспедициях НИС «Академик Мстислав Келдыш» 2016–2020 (ИО РАН), данные научно-исследовательского проекта «Трансарктика-2019», полученные в рамках комплексных экспедиций НЭС «Михаил Сомов» (этап II), НИС «Профессор Молчанов» (этап III) и НИС «Профессор Мультановский» (этап IV), данные ЦМИ МГУ. При этом экспедиционные исследования носили комплексный характер, включая одновременные измерения гидрологических и гидрохимических характеристик водной толщи, литолого-геохимических характеристик всех видов взвеси и донных осадков, в их рамках отобраны 784 проб в поверхностном и придонном слое.

Отбор проб проводился батометрами. Взвесь для анализа УВ выделяли на стекловолоконистые фильтры GF/F (размер пор 0,7 мкм), и на предварительно отмытые соляной кислотой и взвешенные поликарбонатные ядерные фильтры (размер пор 0,45 мкм).

В судовых условиях суммарная экстрагируемая фракция была выделена ультразвуковым методом, а в лабораторных – методом колоночной хроматографии. Липиды экстрагировали метилхлоридом на ультразвуковой бане при температуре 30°C. Концентрацию липидов (до колоночной хроматографии на силикагели) и алифатических УВ (после колоночной хроматографии) определяли ИК-методом на спектрофотометре [4, 7].

На заключительном этапе путем построения и сравнения карт распределения пятен пленочных загрязнений и содержания углеводородов в донных горизонтах, проводился совместный анализ распределения данных полученных спутниковыми и подспутниковыми методами.

Пленочные загрязнения, отображенные на РЛИ в виде темных областей различной формы и размеров, уменьшают обратное рассеяние от моря, подавляя мелкомасштабные ветровые волны. Под пленочными загрязнениями понимают все природные и искусственные маслянистые вещества, включая нефть и нефтепродукты, способные образовывать пленки на морской поверхности [11]. На рисунке 1а–1с показаны наиболее типичные примеры пятен пленочных загрязнений различного происхождения, обнаруженные в ходе мониторинга [10].

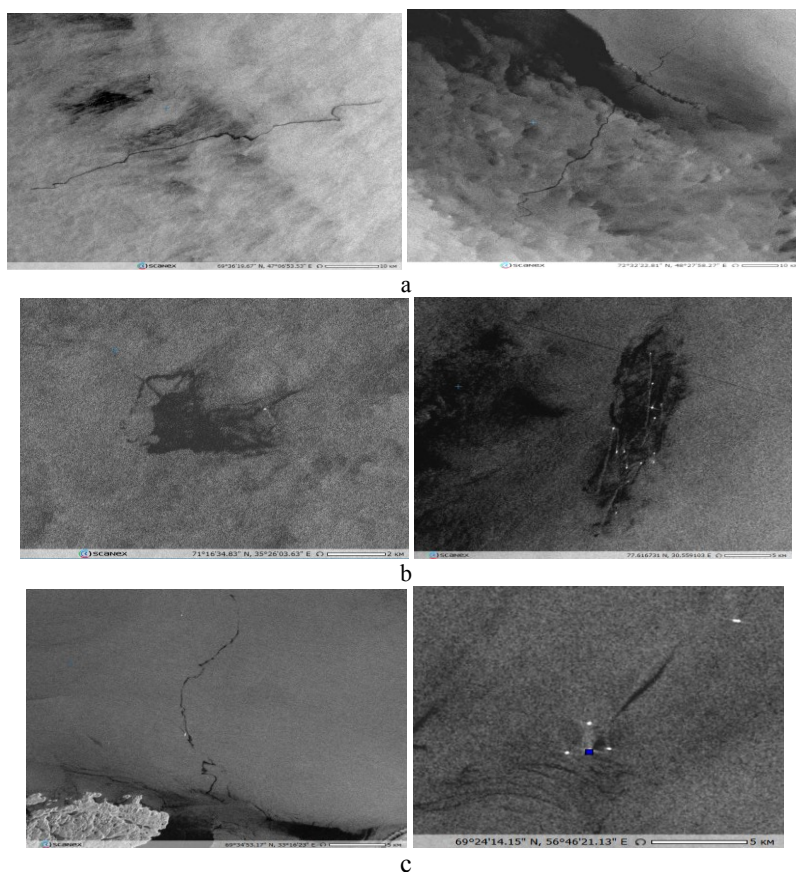


Рисунок 1 – Снимки пятен пленочных загрязнений (Источник: ESA) [10]: а – крупные пятна пленочных загрязнений (судовые разливы) в российском секторе моря. Слева: 7.08.2017 (03:49 UTC) (81,3 км, 29,5 км²); справа: 29.05.2017 (03:32 UTC) (154 км, 73 км²) ESA; б – крупные пятна пленочных загрязнений, обнаруженные в районах рыболовства. Слева: российский сектор 20.09.2017 (04:21 UTC) (12 км²); справа: норвежский сектор 26.09.2018 (06:18 UTC) (64,7 км²); в – пятна прочих пленочных загрязнений, слева: 9.08.2018 (04:30 UTC) судовой разлив в территориальных водах Российской Федерации на подходах к Кольскому заливу (34 км, 3,2 км²). Справа: 28.06.2019 (04:21 UTC) пятно загрязнений в районе платформы «Приразломная» (3 км²) (Источник: ESA)

Использование баренцевоморского геопортала при изучении пространственно-временного распределения обнаруженных и идентифицированных пятен с использованием всей совокупности данных о морском бассейне, в том числе детальных данных батиметрии и данных АИС, физико-географических, данных о МНГК с учетом техногенной нагрузки позволяет выявить возможные источники. Так, в связи с техногенным происхождением, в большинстве случаев загрязнения имеют контекстное окружение – пространственную привязку к региональным, или местным судоходным трассам, конкретным судам, объектам МНГК как в море, так и на побережье, рейдам и портам, где происходит добыча, транспортировка и перевалка жидких грузов, и прочим промышленным объектам [19; 10; 20].

По результатам анализа РЛИ на основе интегральной карты фактического распределения пленочных загрязнений (рис. 2), было проанализировано их пространственно-временное распределение. Наибольшее распределение нефтяных пленок тяготеет к проливу Карские ворота (через о. Колгуев) – Кольский залив – в порты Мурманск и далее на запад, также обнаруживается, хоть и менее выражено – в районе нефтедобычи в Печорском море.

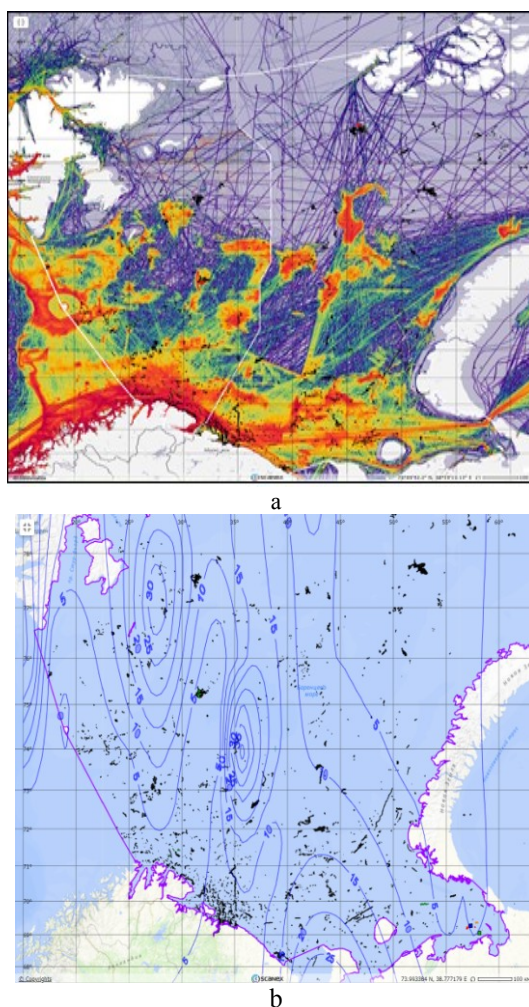


Рисунок 2: а –интегральная карта пленочных/нефтяных загрязнений (черные пятна), обнаруженных и идентифицированных по результатам радиолокационного мониторинга Баренцева моря в 2015–2020 гг.: дана на фоне карты годового судового трафика (интенсивность судоходства) по данным АИС сервиса marinetraffic.com (АИС) [10]; б – сводная карта распределения пленочных загрязнений и содержания углеводородов (в мкг/л) в поверхностном слое воды по данным судовых измерений 2016–2020 гг.

Карта пленочных загрязнений, обнаруженных в результате РЛ мониторинга Баренцева моря в 2015–2020 гг., была представлена на фоне карты годового трафика всех типов судов (по данным АИС) и показывает, что распределение пятен загрязнений имеет специфические особенности и может зависеть от целого ряда причин, включая положение судоходных трасс и рыболовных зон. Отмечается положительное соответствие в распределении повышенных значений в самой южной части между о. Колгуев и Мурманским берегом.

Распределение УВ построено по данным судовых наблюдений за период с 2016 по 2019 г. – построена карта пространственной изменчивости содержания УВ в море (рис. 3). Согласно рисунку, содержание УВ у дна в разных районах варьирует в среднем от 5,4 до 77,5 мкг/л при локальном максимальном значении 107,9 мкг/л, при этом в распределении УВ в придонном слое Баренцева моря выделяются три основные зоны максимальных значений – западная, центральная и восточная.

В норвежском секторе моря в направлении от Лофотенской котловины содержание УВ постепенно возрастает от 5 мкг/л в направлении к Шпицбергенской банке, о. Медвежий и центральному району моря.

На западном шельфе рост концентрации УВ (до 37–41 мкг/л) наблюдается южнее арх. Шпицберген.

Повышение концентраций УВ в среднем до 67 мкг/л (48–87 мкг/л) приурочено к зонам разломов (к примеру, у Медвежинского желоба), здесь разгрузки эндогенных флюидных потоков оказывают влияние на распределение и состав УВ в придонных водах.

Возрастание концентраций УВ – к северу от Мурманской банки, что выражается в наклоне изолиний, при средних концентрациях около 40 мкг/л и плюмовидном распределении. На выходе из Кольского залива (49–50 мкг/л) и в отложениях побережья Кольского п-ова, а также в районе выхода из Горла Белого моря (26–30 мкг/л), содержание УВ на порядок выше, чем в открытых частях моря.

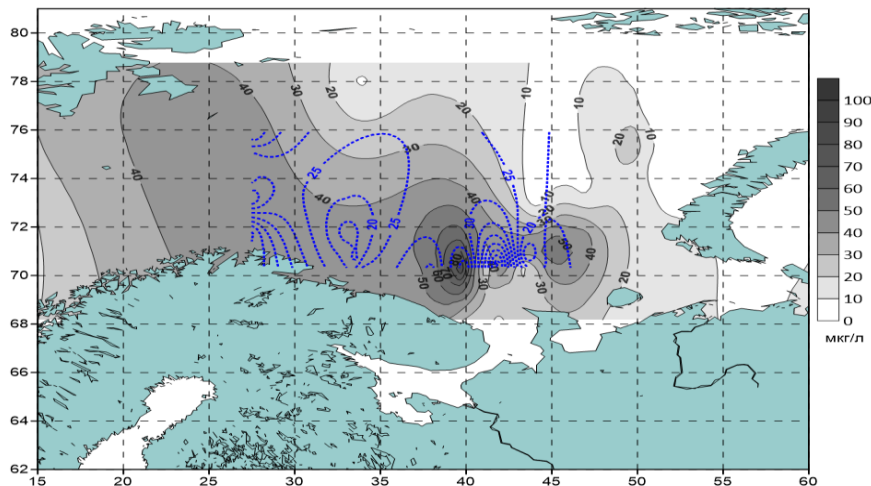


Рисунок 3 – Содержание углеводородов (в мкг/л) в придонных водах Баренцева моря (в мкг/л) и в верхнем слое донных осадков (мкг/г; синий пунктир) по данным судовых измерений 2016–2020 гг.

Возрастание концентрации УВ у дна происходит в прибрежных районах Печорского моря (12–17 мкг/л) и у западной окраины моря (до 24 мкг/л). В открытой части этой акватории содержание УВ в придонной воде меняется в среднем от 3,7 до 7,5 мкг/л, локально повышаясь до 8–9 мкг/л (у о. Вайгач). Локальное повышение содержания УВ также наблюдается у м. Канин Нос (до 26–49 мкг/л), у северной оконечности о. Колгуев (24 мкг/л) при дальнейшем увеличении концентрации к центральной части Баренцева моря.

При изучении уровня загрязнения морей российской Арктики в условиях современных техногенных нагрузок повышенное накопление УВ в Баренцевом море наблюдается в отложениях Центрального желоба и губ (заливов) с инфраструктурой портов, при этом накопление нефтепродуктов в донных отложениях открытых районов Баренцева моря имеет мозаичный характер распределения. Также, отмечается роль гидрологических процессов – течений и гидрофронтов в транспорте загрязнителей в Баренцевом море [6] и активной гидродинамики придонных вод [15], способствующей взмучиванию поверхностного слоя донных осадков и образованию повышенных концентраций взвеси и УВ.

Содержание УВ в среднем меняется в интервале от следовых величин до 80–90 мкг/л. Более низкие концентрации УВ (в среднем около 8 мкг/л) приурочены к северо-восточной части Баренцева моря, что может быть обусловлено удаленностью от континента, а также поступлением низкопродуктивных вод Северного Ледовитого океана.

Отмечаются следующие особенности межгодовой изменчивости содержания УВ у дна за период исследований. В открытой части Баренцева моря концентрации УВ во взвеси в 2016 г. оказались ниже, чем в предыдущие годы, где их величины в 2011 г. составили в среднем 12 мкг/л. В верхнем слое осадков содержание УВ изменялось в 2016 г. в интервале 3–44 мкг/г, а в 2017 г. – от 4 до 57 мкг/г. В 2016 г. максимум их концентраций приурочен к району Медвежинского желоба, а в 2017 г. – к северной оконечности арх. Новая Земля. Повышенное содержание УВ отмечалось и в углеродистых осадках на шельфе Шпицбергена (37 мкг/г). В распределении УВ в 2017 г. отмечалось отсутствие корреляции с органическим углеродом в центральной части моря, что объясняется меньшим влиянием седиментационных процессов на формирование УВ. В 2019 г. содержание УВ изменялось от 5 до 51 мкг/г с повышенным содержанием в осадках в зонах разломов и прибрежной зоны моря. В 2020 г. для различных районов Баренцева моря диапазон концентраций был еще больше – от 2,4 до 186 мкг/г с повышенными концентрациями в районе арх. Шпицберген, отмечалось, что осадки этого района отличаются высоким нефтегазогенерационным потенциалом [4].

Влияние на распределение и состав УВ в толще осадков и в придонном слое воды могли оказывать разгрузки флюидных источников: к примеру, аномалии в распределении УВ на отдельных станциях у арх. Шпицбергена в Медвежинском желобе моря – за счет возможного точечного влияния потоков УВ из толщи осадков и может быть признаком естественных нефтепроявлений (рис. 4).

Учитывая, что основным источником УВ в Мировом океане (до 0.6 млн. т/год или 48 % от суммарного поступления), в том числе в окраинных морях, где распространены нефтегазовые бассейны, являются выходы (высачивания) УВ в нефтегазоносных районах [18], предполагается, что разгрузки эндогенных флюидных источников оказывают влияние на распределение и состав УВ в толще донных осадков и в придонных водах. Маркеры состава алканов и спектры ИК-Фурье [4] указывали как на седиментационный (Мурманская банка, шельф ЗФИ), так и на точечный эндогенный источник УВ (шельф арх. Шпицберген, Медвежинский желоб).

Проведен анализ проб придонной взвеси – наилка, отобранного мультикорером и представляющего собой переходную форму материала между придонной взвесью и донным осадком. Концентрации УВ в наилке оказались значительно выше, чем во взвеси, выделенной из придонной воды в 3,9–17,7 раз, алканов в 13–30 раз. Кроме того, образование нефеллоидных слоев при взмучивании осадков также сказывается на концентрации УВ в придонном горизонте [7].

Следовательно, для изучения седиментационных процессов и содержания УВ на границе вода – осадки представляется целесообразным продолжение отбора проб в данном слое и проведение дальнейших исследований.

Исследования по определению концентрации приоритетных загрязняющих веществ в придонном слое показывают, что наиболее загрязненным может считаться

район, подверженный выносу вод из Кольского залива, непосредственно Кольский залив и акватория, примыкающая к нему, а также акватория, примыкающая к Мурманскому берегу, что в целом соотносится и с полученными ранее результатами по данным радиолокационной съемки [10].

Для пространственного анализа была построена сводная карта распределения пленочных загрязнений и содержания углеводородов моря (в мкг/л) у дна по данным судовых измерений (рис. 4).

По результатам совместного анализа центральная, северо-восточная и юго-восточная (Печорское море) части моря характеризуются, как относительно чистые по содержанию УВ и по их интегральному суммарному многолетнему покрытию нефтяными пленками (пятна, слики), так как концентрация и частота появления пятен здесь наблюдается в меньшей степени, чем в западной и юго-западной частях.

В то же время, в Печорском море отмечаются единичные пятна. Так, наибольшее количество пятен загрязнений наблюдается вблизи российского побережья (п-ова Рыбачий и примыкающей акватории), а также у норвежского побережья моря.

В соответствии с подспутниковыми данными повышенные концентрации УВ наблюдаются здесь в придонном слое в зонах желобов и в шельфовой зоне в районе Кольского залива.

Результаты, как показывает анализ интегральной карты – рисунок 4, а также рисунок 3, согласуются с выводами, полученными при исследованиях на загрязняющие вещества [12]. Так, индекс загрязненности вод (ИЗВ) на большинстве разрезов в Баренцевом море составил 0,50–0,74, что характеризует морскую воду как «чистую», за исключением района, подверженного выносу вод из Кольского залива – «загрязненная».

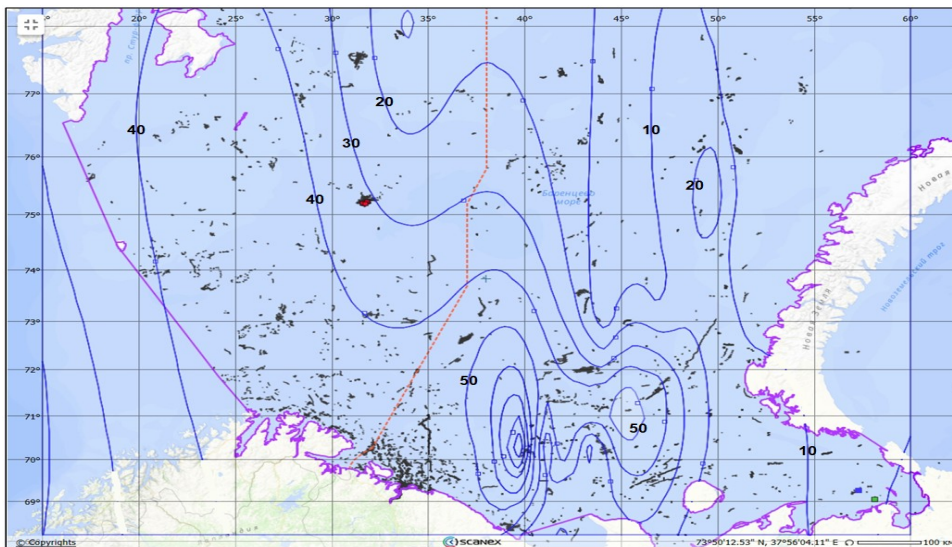


Рисунок 4 – Сводная карта распределения пленочных загрязнений и содержания углеводородов (в мкг/л) у дна по данным судовых измерений 2016–2020 гг.

Также, по данным многолетних наблюдений ФГБУ Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского донные осадки Кольского залива характеризуются самой высокой на северо-западе России фоновой концентрацией гексанрастворимых нефтепродуктов (среднее гармоническое – 1,615 мг/г), в то время как фоновая концентрация нефтепродуктов в донных осадках региона в целом составляет 0,032 мг/г [13], что тоже свидетельствует о высоком уровне техногенного воздействия на геосистему залива.

Заключение. Выполнен совместный анализ многолетних данных РЛ-зондирования и данных судовых наблюдений, построена сводная карта (рис. 4), рассмотрены особенности распределения УВ. На основе полученных результатов

показано, что пространственное распределение УВ в Баренцевом значительно подвержено изменчивости, которую представилось возможным установить, применив в комплексе радиолокационную съемку и стандартные судовые методы наблюдения.

Пространственное распределение РЛИ-пятен, их количество и концентрация, сопоставление с данными АИС и трафика судов, в частности, танкеров, рыболовных судов, указывает на вклад антропогенной нагрузки, особенно в южной части моря, включая акваторию, примыкающую к Кольскому заливу.

Содержание УВ в районе нефтедобычи в Печорском море – оказалось близко к фоновым значениям.

Наряду с существующими на сегодняшний день различными выводами о сравнительно небольшой степени загрязнения морской среды Баренцева моря, очевидна необходимость проведения региональных мониторинговых работ и дальнейшего изучения пространственно-временной изменчивости распределения углеводородов в море в связи с влиянием хозяйственной деятельности.

В работе наглядно представлена эффективность применения космической радиолокации. В силу физико-географического положения моря радиолокационный мониторинг продолжает оставаться незаменимым методом исследований в Баренцевом море, в том числе в указанных районах, которые требуют особого внимания.

На основе радиолокационной съемки реализуется мониторинг загрязнения вод российских морей, а также естественных нефтепроявлений и прежде всего, в районах нефтедобычи на шельфе, поэтому определение углеводородных фоновых концентраций для пелагических и прибрежных морских вод продолжает оставаться важной задачей.

В настоящее время область практического применения радиолокационных данных для идентификации загрязнений, обусловленных нефтью и нефтепродуктами, представляется возможным расширить при продолжающемся увеличении группировки спутников ДЗЗ, причем особое внимание следует уделить южной части Баренцева моря, Печорскому морю, как одному из главных арктических морских нефтедобывающих регионов с объектами МНГК, акваториям портов, Кольскому заливу.

Результаты, полученные на основе анализа многолетнего распределения пленочных загрязнений согласуются с результатами, полученными на основе анализа данных судовых подспутниковых измерений, что говорит об эффективности применяемых научно-методических подходов.

Благодарности: экспедиционные работы проведены в рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» в рамках госзадания Минобрнауки России (тема 0149-2019-0007), в рамках национального научно-исследовательского проекта «Трансарктика-2019» – комплексных экспедиций на НЭС «Михаил Сомов» (этап II), НИС «Профессор Молчанов» (этап III) и НИС «Профессор Мультиановский» (этап IV), а также в рамках выполнения работ профильными организациями.

Радиолокационный мониторинг проведен в рамках проекта РФФИ № 18-55-20010, спутниковые данные ГК СКАНЭКС, исключительные права на которые принадлежат Европейскому космическому агентству. Геохимические исследования и обобщение материалов выполнено при поддержке РНФ (проект № 19-17-00234).

Acknowledgments: expeditions were carried out by R/V «Akademik Mstislav Keldysh» within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of Russia (subject 0149-2019-0007), within the framework of the national research project «Transarctic-2019» – complex expeditions to the R/V «Mikhail Somov» (stage II), R/V «Professor Molchanov» (stage III) and the R/V Professor Multanovsky (stage IV), as well as within projects performed by specialized organizations.

Radar monitoring was maintained as part of the RFBR project No. 18-55-20010, SCANEX/ESA satellite data. Geochemical analysis and studies were supported by the RSF (Project No. 19-17-00234).

Список источников

1. Каминский В. Д., Супруненко О. И., Смирнов А. Н. и др. Современное ресурсное состояние и перспективы освоения минерально-сырьевой базы шельфовой области российской Арктики // Разведка и охрана недр. 2016. № 9. С. 136–142.
2. Патин С. А. Нефть и экология континентального шельфа: в 2 т. 2-е изд. переработанное и дополненное. Москва: ВНИРО, 2017. Т. 1: Морской нефтегазовый комплекс: состояние, перспективы, факторы воздействия. С. 32–6.
3. Леин А. Ю. Биогеохимические процессы раннего диагенеза в современных отложениях морей Российской Арктики // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории: мат-лы VII Всерос. Литологич. совещания 28–31 октября, 2013. 2013. Т. 2. С. 163.
4. Немировская И. А., Александрова А. Г., Храмова А. В. Изучение углеводородов в четвертичных осадках Норвежского и Баренцева морей в рейсах НИС «Академик Мстислав Келдыш» (2016–2020 гг.) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Вып. 7. С. 124–128.
5. Леменкова П. А. Загрязнение акватории Баренцева моря нефтяными углеводородами // Proc. Conference “Oil and Gas in Western Siberia”. Tyumen: TSOGU, 2015. Vol. 1. P. 113–118. doi: 10.6084/m9.figshare.7211531.
6. Ильин Г. В., Усягина И. С., Касаткина Н.Е. Геоэкологическое состояние среды морей российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок. Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 2 (21). С. 82–93.
7. Немировская И. А., Храмова А. В., Халиков И. С. и др. Углеводороды в воде и осадках Норвежского и Баренцева морей // Труды Карельского научного центра РАН. 2021. № 4. С. 1–14. doi: 10.17076/lim1382.
8. Евтушенко Н. В., Иванов А. Ю. Методические рекомендации по организации мониторинга пленочных загрязнений Кольского залива по данным спутниковых радиолокационных наблюдений // Кольский залив и нефть: биота, карты уязвимости и загрязнение / под ред. А. А. Шавыкина. Санкт-Петербург: Реноме, 2018. С. 495–512.
9. Иванов А. Ю., Александрова А. Г., Ивонин Д. В. О результатах спутникового радиолокационного мониторинга пленочных/нефтяных загрязнений Баренцева моря // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат арктической зоны: первая Всерос. науч. конф. с между. участием. Москва, 2020. С. 306–308.
10. Кучейко А. Ю., Иванов А. Ю., Евтушенко Н. В., Александрова А. Г. и др. Пленочные загрязнения Баренцева моря по данным радиолокационного мониторинга 2017–2019 гг. // Экология и промышленность России. 2020. Т. 24, № 7. С. 48–55.
11. Иванов А. Ю., Затыгалова В. В. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием космической радиолокации и географических информационных систем // Исследование Земли из космоса. 2007. № 6. С. 46–63.
12. Коршенко А. Н., Чекменева Н. А., Жохова Н. В. и др. Современный уровень загрязнения Баренцева моря (ПРОЕКТ «ТРАНСАРКТИКА-2019») // Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды. Экосистемы и климат Арктической зоны: сб. мат-лов II Всерос. науч. конф. с междунар. участием. 2020. С. 679–692.
13. Шахвердов В. А., Шахвердова М. В. Оценка современного геоэкологического состояния Кольского залива по геохимическим данным // Арктика: экология и экономика. 2016. № 4 (24). С. 22–31.
14. Kennicutt M. C., Jeffrey S. Chemical and GH-MS characterization of marine dissolved lipids // *Mar. Chem.* 1981. № 10 (5). С. 367–387.
15. Frey D. I., Novigatsky A. N., Kravchishina M. D. and others. Water structure and currents in the Bear Island Trough in July-August 2017 // *Rus. J. Earth Sci.* 2017. Vol. 17. ES3003. P. 1–5.
16. AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme), Oslo: AMAP, 2007. Chapt. 4. Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants Related to Oil and Gas Activities in the Arctic. 87 p.
17. NAS (National Academy of Sciences). Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects. Washington, D.C.: NRC, 2016. 265.
18. Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects / National Academy of Sciences. Washington: NRC, 2003. 265 p.
19. Topouzelis N. K. Oil spill detection by SAR images: Dark formation detection, feature extraction and classification algorithms // *Sensors*. 2008. Vol. 8. P. 6642–6659.

20. Ivanov A. Yu., Filimonova N. A., Kucheiko A. Yu. and others. Oil spills in the Barents Sea based on satellite monitoring using SAR: spatial distribution and main sources // *Int. J. Remote Sensing*. 2018. Vol. 39, № 13. P. 4484–4498.

References

1. Kaminsky V. D., Suprunenko O. I., Smirnov A. N., et al., Modern resource status and prospects for the development of the mineral resource base of the shelf region of the Russian Arctic. *Prospect and protection of mineral resources*. 2016; 9:136–142 (In Russ.).
2. Patin S. A. Oil and Ecology of the Continental Shelf: in 2 vols. 2nd ed. revised and expanded. Moscow: VNIRO; 2017; 1:32–36 (In Russ.).
3. Lein A. Yu. Biogeochemical processes of early diagenesis in modern sediments of the seas of the Russian Arctic. *Proceedings of the VII All-Russian Lithological Meeting October 28–31, 2013. Sedimentary basins, sedimentation and post-sedimentation processes in geological history*. 2013; II:163 (In Russ.).
4. Nemirovskaya I. A., Aleksandrova A.G., Khramtsova A. V. Study of hydrocarbons in the Quaternary sediments of the Norwegian and Barents Seas on cruises of the R/V Akademik Mstislav Keldysh (2016–2020). *Relief and Quaternary formations of the Arctic, Subarctic and North-West of Russia*. 2020; 7:124–128 (In Russ.).
5. Lemenkova P. A. Pollution of the Barents Sea with oil hydrocarbons. *In Proc. Conference Oil and Gas in Western Siberia*. Tyumen: TSOGU; 2015; 1:113–118. doi: 10.6084/m9.figshare.7211531.
6. Ilyin G. V., Usyagina I. S., Kasatkina N. E. Geocological state of the environment of the seas of the Russian sector of the Arctic in the conditions of modern technogenic loads. Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS. *Bulletin of the Kola Scientific Center RAS*. 2015; 2(21):82–93 (In Russ.).
7. Nemirovskaya I. A., Khramtsova A. V., Khalikov I. S. Hydrocarbons in water and sediments of the Norwegian and Barents seas. Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2021; No. 4: 1–14. DOI: 10.17076/lim1382. (In Russ.).
8. Evtushenko N.V., Ivanov A.Yu. Guidelines for organizing monitoring of film pollution in the Kola Bay based on satellite radar observations. Monograph. Kola Bay and Oil: Biota, Vulnerability Maps and Pollution. Ed. A.A. Shavykin. SPb. Renome. 2018; 495–512. (In Russ.).
9. Ivanov A.Yu., Aleksandrova A.G., Ivonin D.V. On the results of satellite radar monitoring of film/oil pollution in the Barents Sea. *Materials II All-Russian scientific conference with int. participation Monitoring of the state and pollution of the environment. Ecosystems and climate of the Arctic zone*. 2020; 306–308 (In Russ.).
10. Kucheiko A. Yu., Ivanov A. Yu., Evtushenko N. V., Aleksandrova A. G. Film pollution of the Barents Sea according to radar monitoring data 2017–2019. *Ecology and industry of Russia*. 2020; 24(7):48–55 (In Russ.).
11. Ivanov A. Yu., Zatyagalova V. V. Mapping of film pollution of the sea using space radar and geographic information systems. *Research of the Earth from space*. 2007; 6:46–63 (In Russ.).
12. Korshenko A. N., Chekmeneva N. A., Zhokhova N. V. and others. The current level of pollution in the Barents Sea (PROJECT TRANSARCTIC-2019). *Materials II All-Russian scientific conference with int. participation Monitoring of the state and pollution of the environment. Ecosystems and climate of the Arctic zone*. 2020; 679–692 (In Russ.).
13. Shakhverdov V. A., Shakhverdova M. V. Assessment of the current geocological state of the Kola Bay according to geochemical data. *Arctic: Ecology and Economics*. 2016; 4(24):22–31 (In Russ.).
14. Kennicutt M.C., Jeffrey S. Chemical and GH-MS characterization of marine dissolved lipids. *Mar. Chem. R.* 1981; 10(5):367–387.
15. Frey D. I., Novigatsky A. N., Kravchishina M. D. and others. Water structure and currents in the Bear Island Trough in July-August 2017. *Rus. J. Earth Sci.* 2017; 17:1–5.
16. AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Program), *Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants Related to Oil and Gas Activities in the Arctic*. Oslo: AMAP; 2007; chapt. 4: 87.
17. NAS (National Academy of Sciences) Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects. Washington, D.C.: NRC; 2003:265.
18. *Oil in the Sea III: Inputs, Fates, and Effects*. Washington, NRC; 2003:265.
19. Topouzelis N. K. *Oil spill detection by SAR images: Dark formation detection, feature extraction and classification algorithms*. Sensors. 2008; 8:6642–6659.

20. Ivanov A. Yu., Filimonova N. A., Kucheiko A. Yu. and others. Oil spills in the Barents Sea based on satellite monitoring using SAR: spatial distribution and main sources. *Int. J. Remote Sensing*. 2018; 39(13):4484–4498 (In Russ.).

Информация об авторах

А. Г. Александрова – инженер-океанолог, ведущий консультант;

А. Ю. Иванов – ведущий научный сотрудник, кандидат физико-математических наук

Information about the authors

A. G. Alexandrova – ocean engineer, leading consultant;

A. Yu. Ivanov – leading researcher, Candidate of Sciences (Physical and Mathematical).

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.08.2022; одобрена после рецензирования 18.08.2022; принята к публикации 24.08.2022.

The article was submitted 12.08.2022; approved after reviewing 18.08.2022; accepted for publication 24.08.2022.