

Целью проекта является разработка и усовершенствование методов восстановления параметров загрязнения морской поверхности, исследование влияния на их распространение динамических и циркуляционных процессов малых масштабов и определение экологического состояния акваторий морей России на основе комплексного анализа спутниковой информации.

В течение последних трех лет запущены новые искусственные спутники Земли, на которых установлены новейшие приборы для дистанционной диагностики процессов, происходящих на поверхности Земли. Поступающий с них непрерывный поток данных высокого пространственного разрешения вплоть до единиц метров, получаемых в различных диапазонах электромагнитного спектра, обеспечивает качественно новый уровень дистанционных исследований океанических процессов.

В 2018 г. получены и интегрированы в геопортал «SeeTheSea» (STS), созданного и находящегося в эксплуатации в ИКИ РАН, новые спутниковые данные, включая данные со спутников Sentinel-1A/B, Sentinel-2A/B, Sentinel-3A, Landsat-7/8, Terra/Aqua. Подготовлено технологическое решение для усвоения в систему данных сенсоров, установленных на спутнике Sentinel-3B, запущенного в 2018 г. Реализована возможность получения специализированных продуктов обработки данных для анализа состояния водной поверхности, в том числе, индекса плавающих водорослей (FAI) и температуры поверхности воды. Реализован цветовой синтез радиолокационных изображений, основанный на визуализации данных, полученных в режимах горизонтальной и вертикальной поляризации, а также их отношения. Все вновь полученные данные были проанализированы и использованы при решении задач по проекту.

В ходе выполнения второго этапа проделана следующая работа и получены основные результаты:

Усовершенствованы методики надёжного распознавания и дискриминации различных типов загрязнения морской среды, которые основываются на комплексном использовании новых типов данных дистанционного зондирования, получаемых в различных диапазонах электромагнитного спектра: многоспектрального сенсора MSI IC3 Sentinel-2 и спектрометра OLCI IC3 Sentinel-3 и данных радиолокаторов с синтезированной апертурой (PCA) SAR-C, установленных на IC3 Sentinel-1A, -1B. Определены преимущества и возможные ограничения использования различных спутниковых данных и их комбинаций для выявления пленок различной природы на морской поверхности, а также на развитие методик разрешения неоднозначности в интерпретации радиолокационных данных и уточнения количественных параметров нефтяного загрязнения морской поверхности.

Разработана методика определения границ достоверности определения площади нефтяного загрязнения по радиолокационным данным, основанная на учете зависимости формирования радиолокационных сигнатур нефтесодержащих пленок на морской поверхности от волно-ветровой и гидрометеорологической обстановки.

Усовершенствована методика различения загрязнений в прибрежной зоне, вызванных повышением концентрации взвешенного вещества от биогенных «загрязнений» в зонах интенсивного цветения фитопланктона на основе совместного анализа карт общего содержания взвешенного вещества и концентрации хлорофилла-а по данным MSI Sentinel-2, OLI Landsat-8 и OLCI Sentinel-3.

На основе анализа спутниковых изображений получены статистически обоснованные данные о пространственной, сезонной и межгодовой изменчивости динамических процессов, влияющих на

перенос загрязнений: мезо- и субмезомасштабных вихревых структур, а также мезо- и субмезомасштабных фронтов (как в море, так и в приводном слое атмосферы) в юго-восточной части Балтийского моря; в юго-восточной части Балтийского моря; распространения речных вод в море, в частности для рек, впадающих в восточную часть Черного моря и р. Рона (Лионский залив Средиземного моря); внутренних волн в северо-восточной части Черного моря.

Проведены модельные расчёты, направленные на выявление механизмов влияния процессов малых масштабов на распространение загрязнений в тестовых районах: восточная и юго-восточная части Черного моря, юго-восточная часть Балтийского моря, Лионский залив Средиземного моря.

Выявлен прямой и опосредованный вклад динамических процессов, в первую очередь вихревых структур и струй, в процесс распространения загрязнений в морских акваториях. В частности, на основе анализа последовательных спутниковых изображений впервые продемонстрировано влияние мезомасштабного антициклонического вихря на перемещение пятен нефтепродуктов в северной части Гданьского залива и оценены скорости этого перемещения в зависимости от места их попадания в область антициклона и его присоединенного циклона (вихревого диполя). На основе анализа спутниковых РСА-изображений, содержащих слики естественных нефтепроявлений на морской поверхности юго-восточной части Черного моря в районе турецкого шельфа вблизи г. Ризе установлено, что в 10-12 % случаев нефтяная пленка после выхода на поверхность оказывается вовлеченной в мелкомасштабные вихревые движения, которые зачастую радикальным образом меняют ожидаемую (расчетную) траекторию распространения слика. Установлено, что в зависимости от размеров, знака завихренности и траектории движения вихря, вовлеченность слика в вихревые движения может иметь как положительный эффект, способствуя кросс-шельфовому переносу загрязнений и очищению прибрежной зоны, так и отрицательный, способствуя выносу нефтяного загрязнения на берег

На основе данных спутникового мониторинга и результатов подспутниковых измерений выявлено влияние распространения загрязнений, в частности сильно взмученных вод, под действием вдольберегового струйного течения, являющегося частью вихревого диполя. Оценены скорости распространения загрязнений в зависимости от их попадания в струйное течение или на периферию диполя.

Работы по усовершенствованию методик построения прогноза распространения различных типов загрязнений с учётом более детальной информации о фактической пространственно-временной структуре и взаимодействии мезо- и субмезомасштабных процессов (вихрей, вихревых диполей, струй, внутренних волн и фронтов) в районах, подверженных различным типам загрязнений позволили прийти к следующим выводам:

- мезо- и субмезомасштабные процессы (антициклонические и циклонические вихри, вихревые диполи, струи и фронты) существенным образом влияют на скорость и направление перемещения нефтяных пятен;
- в случае умеренных ветров и слабых течений, влияние мезо- и субмезомасштабных процессов на адвекцию нефтяных пятен становится первостепенным фактором;
- в случае обнаружения цепочки нефтяных пятен, влияние мезо- и субмезомасштабных процессов на адвекцию нефтяных пятен индивидуально, поскольку каждое пятно попадает под воздействие конкретной части вихревого поля, отличающегося скоростью и направлением движения вод даже

в случае индивидуального вихря. Эта ситуация отличается от воздействия существенно более крупномасштабных и, поэтому, более однородных (относительно нефтяного пятна) полей ветра и генеральных течений.

Основной результат: методика построения прогноза распространения различных типов загрязнений с учётом более детальной информации о фактической пространственно-временной структуре и взаимодействии мезо- и субмезомасштабных процессов должна включать оперативные спутниковые радиолокационные и оптические данные высокого разрешения (10-30 м) и результаты численного моделирования с разрешением порядка 100-200 м.

На основе спутниковых данных за 2017-2018 гг. получены количественные оценки межгодовой, сезонной и пространственной изменчивости естественного и антропогенного нефтяного загрязнения морской поверхности в юго-восточной части Балтийского моря и нефтяных загрязнений в юго-восточной части Черного моря, где наблюдаются естественные выходы нефти на поверхность моря (на турецком шельфе вблизи г. Ризе и в грузинском секторе Чёрного моря в районе Поти-Батуми). Определены совокупные площади нефтяных загрязнений и исследована их межгодовая изменчивость.

Оценены риски нефтяного загрязнения акватории и побережья для тестовых районов на основе многолетних спутниковых данных о нефтяном загрязнении, численного моделирования и гидрометеорологической информации. Разработана методика определения зон рисков потенциального загрязнения береговой черты на основе результатов дрейферных экспериментов.

В 2018 г. были проведены две серии подспутниковых измерений. С 20 по 29 апреля 2018 года проводились синхронные со спутниковой съёмкой натурные измерения параметров пюма р. Мзымта (Черное море, район г. Сочи) с маломерного судна с помощью акустического доплеровского профилографа скорости течения ADCP RDI WH 300 кГц совместно с выполнением гидрологических станций CTD зондирования. Производился также отбор проб воды с поверхностного горизонта для дальнейшего лабораторного анализа с целью определения концентрации взвешенного вещества и сравнения полученных результатов с результатами, полученными по спутниковым данным. Основная цель экспедиционных работ в районе Сочи – определение гидрологических параметров в районе выноса речных вод (температура, солёность, мутность) и их распределение по пространству и глубине. В период проведения экспедиционных работ было получено и проанализировано 13 спутниковых изображений высокого пространственного разрешения. Поведен совместный анализ спутниковой информации и результатов подспутниковых измерений с целью верификации спутниковых данных.

Экспедиционные работы в прибрежной зоне Балтийского моря в районе Самбийского полуострова проводились в период с 31 июля по 11 августа 2018 г. В ходе экспедиционных работ осуществлялась съёмка параметров течений при помощи ADCP и зондирование толщи вод при помощи CTD-зонда, датчика общей мутности вод и флюориметра. Было выполнено 6 гидрологических разрезов и проведено CTD-зондирование на 66 станциях. Было запущено 10 лагранжевых дрейферов в разных районах акватории при разных гидрометеорологических условиях. Проведено сравнение реальных траекторий буев с результатами численного моделирования на основе адаптированной для юго-восточной части Балтийского моря модели ROM. Воспроизведение в модельных расчетах инерционных петель, которые присутствуют на траекториях некоторых из запущенных дрейферов, происходит в период устойчиво невысоких скоростей течения (0,05-0,15 м/с), формирующегося на фоне более частого изменения направления умеренного ветра со скоростью до 6 м/с. При высоких скоростях струйного

прибрежного течения, которое наблюдалось вдоль северного побережья Самбийского полуострова во время образования и распространения вихревого диполя 8-10 августа, модельные частицы распространялись в приповерхностном слое по траекториям, близким к траекториям буев. Траектории частиц, выпущенных из тех же точек в придонном слое, имели более разнообразную форму, при этом преобладающее направление их распространения определялось структурой течения в том слое, из которого они были выпущены. Для периода времени, близкого к периодам распространения реальных дрейфтеров, были проанализированы карты полного содержания взвешенного вещества, построенные по спутниковым данным. Было отмечено соответствие направления распространения взвеси в окрестности м. Таран и очертания областей ее повышенной концентрации со структурой модельных приповерхностных течений в данном районе.

Результаты, полученные в ходе второго этапа исполнения проекта, представлены в 12 публикациях, индексируемых в базах данных Web of Science Core Collection, SCOPUS и РИНЦ. Были представлены 16 докладов на десяти международных и российских конференциях.

С материалами, посвященными данному проекту, можно ознакомиться на сайте http://www.iki.rssi.ru/asp/dep_proj/proj_555.htm.