

Главной задачей проекта является оценка с помощью спутниковых данных и средств дистанционного зондирования Земли изменения экологического состояния Каспийского моря на протяжении текущего столетия под воздействием природных и антропогенных факторов. Для решения этой задачи потребовался детальный анализ больших массивов данных спутникового зондирования Каспийского моря за период с 1999 по 2022 г. совместно с многолетними гидрометеорологическими данными и доступными данными измерений *in situ*. Решение поставленной в проекте задачи стало возможным исключительно благодаря созданию в ИКИ РАН информационного сервиса «See The Sea» (STS), который является составной частью ОИ ЦКП «ИКИ-Мониторинг».

Исполнителями проекта совместно с представителями ОИ ЦКП «ИКИ-Мониторинг» проведен выбор данных для включения их в архивы ОИ, основанный на выборе наиболее подходящих для выполнения проекта данных, в зависимости от параметров съемки (пространственное разрешение, ширина кадра, поляризация), форматов записей и необходимого охвата территории всего Каспийского моря. На всем протяжении исполнения проекта проводились также работы по непрерывному получению в автоматическом режиме оперативных данных спутникового дистанционного зондирования акватории Каспийского моря их систематизации, анализу и интегрированию в ИС STS.

В проекте было запланировано семь основных задач. Еще одна задача возникла в ходе исполнения проекта: была осознана необходимость проведения подспутниковых измерений с целью валидации спутниковых данных.

Первостепенной экологической проблемой Каспийского моря на протяжении многих лет является нефтяное загрязнение, которое связано как с добычей нефти и ее транспортировкой, так и с изменением уровня моря, приводящим к вторичному загрязнению, стоком рек и даже с сейсмической активностью, которая провоцирует естественные выходы углеводородов со дна моря.

В ходе исполнения проекта выявлены районы, где морская поверхность подвергается наиболее частому загрязнению нефтесодержащими пленками и установлены источники этого загрязнения, а именно: район нефтедобычи «Нефтяные Камни», район активного грязевого вулканизма на западном борту Южно-Каспийской впадины, район естественных выходов углеводородов с морского дна в юго-западной части Каспийского моря вблизи мыса Сафид Руд, район естественных выходов углеводородов с морского дна в восточной части Центрального Каспия вблизи полуострова Челекен, основные судоходные трассы.

На протяжении всего срока исполнения проекта проводилось картографирование нефтяных загрязнений морской поверхности акватории Каспийского моря в районах устойчивого загрязнения морской поверхности нефтесодержащими пленками. Пространственные контуры и количественные характеристики выявленных нефтепроявлений загружались в подсистему создания и ведения описаний явлений спутникового сервиса STS, что обеспечивало возможность получения карт нефтяного загрязнения в районе интереса за любой промежуток времени.

В результате анализа спутниковых данных, полученных в районе Южно-Каспийской впадины, выявлены многочисленные поверхностные нефтепроявления, обусловленные грязевым вулканизмом. Частота возникновения нефтепроявлений определяется сейсмологической обстановкой в Южном Каспии и прилегающих к нему районах.

Проведен статистический анализ массива описаний случаев нефтесодержащих загрязнений морской поверхности, получены количественные оценки их межгодовой, сезонной и пространственной изменчивости. Показано, что основной вклад в интегральное нефтяное загрязнение вносит непрерывное загрязнение в районе нефтедобычи Нефтяные Камни (60-65%), а также грязевулканическая активность на морском дне в районе Южно-Каспийской впадины (18-23%). Меньший вклад в общую картину загрязнения вносят естественные нефтепроявления углеводородов с морского дна на Иранском и на туркменском шельфах (7-10%) и (8-11%) соответственно.

На основе анализа многолетних рядов спутниковых данных оптического диапазона высокого и среднего разрешения, полученных над акваториями Южного и Среднего Каспия за 1999-2022 гг. были определены районы регулярного интенсивного цветения в Северном, Среднем и Южном Каспии. К ним относятся: в Северном Каспии район, прилегающий к дельте Волги и в южной части Северного Каспия, в Среднем Каспии – на границе с Северным Каспием, вдоль западного побережья в районе выносов рек Сулак и Терек, в районе Апшронского полуострова на границе с Южным Каспием. В Южном Каспии – в южной части Апшеронского полуострова, вдоль юго-западного побережья. В центральной части Южного Каспия наблюдались аномальные цветения водорослей, преимущественно сине-зеленых. Наиболее интенсивное аномальное цветение наблюдалось в 2001 и 2005 гг., а также в 2008, 2009, 2010 и 2017 гг. По результатам проведенного анализа строились карты районов интенсивного цветения фитопланктона.

Проведено исследование сезонной и межгодовой изменчивости и трендов в текущем столетии температуры воздуха и поверхности моря, уровня моря, атмосферных осадков, влажности и облачности. Было определено, что в последние годы амплитуда изменений температуры воздуха и поверхности моря сильно возросла, хотя значения трендов остаются примерно на одном уровне. Анализ временных серий среднемесячных значений атмосферных осадков показал, что в Среднем Каспии наблюдается отрицательный тренд, хотя в отдельные годы выпадало рекордное значение атмосферных осадков. Альтиметрические данные подтвердили, что уровень Каспийского моря падает и к декабрю 2022 г. фактически приблизился к минимуму 1977 г.

Наличие доступной спутниковой информации высокого и среднего пространственного разрешения позволили с большой точностью определить даты начала замерзания и таяния ледяного покрова в Северном Каспии, его продолжительность, и максимальную площадь льда в каждый зимний период. Была обнаружена сильная межгодовая изменчивость этих параметров, особенно после 2012 года, с растущей амплитудой колебаний.

Показано, что при среднем уменьшении ледяного покрова Каспийского моря, связанного с региональным изменением климата, наблюдаются отдельные годы, когда ледовитость моря существенно возрастает.

На основе анализа многолетних рядов спутниковых данных проведены работы по выявлению изменений в характере типичных для Каспийского моря гидродинамических процессов, таких как вихревые процессы, внутренние волны и сгонно-нагонные явления. Сравнивались их пространственные характеристики, частота проявлений, сезонная изменчивость. Определены основные районы вихреобразования. С помощью инструментария ИС STS построены карты-схемы

выявленных по спутниковым радиолокационным и оптическим данным районов регулярной вихревой активности. Показано, что мезомасштабные и субмезомасштабные гидродинамические процессы существенным образом влияют на перенос загрязняющих веществ.

С целью валидации спутниковых данных в 2022 г. были проведены подспутниковые измерения в приустьевых зонах р. Терек и Сулак. Определялись основные характеристики плюмов этих рек, проведено сравнение результатов спутниковых наблюдений и измерений in-situ.

В течение всего периода выполнения проекта велось усовершенствование информационной системы «See The Sea» и создание нового инструментария для решения возникающих в ходе исполнения проекта задач.

Всего за весь период исполнения проекта было опубликовано 22 научные публикации, содержащие результаты исследований по проекту в ведущих рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях, индексируемые в библиографических базах данных Web of Science и/или SCOPUS. Три из них в изданиях, относящихся к Q1. Результаты проекта были представлены на 12 международных конференциях, в общей сложности было сделано 31 доклад.

По результатам проекта была подготовлена к публикации монография Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы исследования изменчивости Каспийского моря.

С материалами, посвященными данному проекту, можно ознакомиться на сайте [http://www.iki.rssi.ru/asp/dep\\_proj/proj\\_20060.htm](http://www.iki.rssi.ru/asp/dep_proj/proj_20060.htm).