



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, экологии и экономического обеспечения деятельности
предприятий природопользования

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)
по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование
(квалификация – бакалавр)

На тему Дистанционные методы экологического мониторинга

Исполнитель Никитина Мария Владимировна

Руководитель к.г.н., доцент Солнцева Анна Андреевна

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

« 25 » 01 2020г.

Туапсе

2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Современные системы дистанционных методов экологического мониторинга.....	5
1.1 Характеристика дистанционного мониторинга.....	5
1.2 Компьютерные методы обработки спутниковых данных при использовании аэрокосмических съемок при дистанционном мониторинге.....	8
2 Оценка дистанционного мониторинга Российского сектора Черного и Азовского морей.....	15
2.1 Применение дистанционного зондирования при мониторинге Черного и Азовского морей	15
2.2 Анализ степени загрязнения Черного и Азовского морей	20
3 Современные концепции дистанционного мониторинга окружающей среды.....	39
3.1 Дистанционный мониторинг как источник информации для баз геоданных.....	39
3.2 Преимущества и недостатки спутниковых систем дистанционного мониторинга.....	47
Заключение	50
Список использованной литературы.....	54

Введение

Одним из наиболее многообещающих направлений, развиваемых в Российском государственном гидрометеорологическом университете, является геопространственное моделирование. Исключительную актуальность оно приобретает в связи со строительством «Северного потока», а также вводом в эксплуатацию новых портовых нефтеналивных сооружений. Мониторинг, выявление и ликвидация возможных техногенных катастроф неосуществимы без развития инновационных технологий в области геоинформатики и организации геоинформационных систем (ГИС). Подобные системы позволяют проводить комплексный анализ состояния вод, в который входят: оперативное наблюдение за течениями, волнами, изменениями в морфологической структуре прибрежной зоны, качеством воды и переносом загрязнений, а также возможностью выявления антропогенных катастроф и подводного терроризма [16, с. 134 – 135].

В предоставлении данной информации на современном этапе возрастает роль аэрокосмических средств. Это обусловлено оперативностью получения с помощью их метрической и смысловой информации об изучаемой территории, беспристрастностью и документальностью этой информации, возможностью регулярных наблюдений за изменениями, происходящими на изучаемой территории, а также снижением затрат на проведение съемок и получением необходимой информации.

Аэро- и космические средства, и методы получения информации о местности, объектах и процессах в значительной мере восполняют недостатки контактного способа сбора информации, а в некоторых случаях полностью заменяют его. Некоторые задачи, особенно поискового (разведывательного) характера, можно решить только с помощью аэро- и космических съемок.

Актуальность исследований обоснована рассмотрением вопроса об использовании материалов аэрокосмических съемок в целях мониторинга

Черного и Азовского морей.

Объектом исследования являются геоинформационные системы.

Предмет исследования: дистанционное зондирование при мониторинге Черного и Азовского морей.

Целью данной работы является формирование оптимальных условий информационных материалов по дистанционному зондированию для решения задач мониторинга Черного и Азовского морей.

Для реализации поставленной цели решаются следующие задачи:

- рассмотреть сущность и задачи мониторинга Черного и Азовского морей;
- оценить современные системы дистанционного зондирования;
- провести анализ технических характеристик космических и авиационных съемочных систем, и области их применения;
- проанализировать возможности применения аэрокосмических средств и методов получения информации в целях мониторинга Черного и Азовского морей.

Структура работы. Работа состоит из введения, заключения, трех глав, списка использованной литературы. В первой главе описаны современные системы дистанционных методов экологического мониторинга. Во второй главе дана оценка дистанционного мониторинга Российского сектора Черного и Азовского морей. В третьей главе описаны современные концепции дистанционного мониторинга окружающей среды

Информационно методическим обеспечением исследований являлся анализ научной литературы, нормативно – правовых актов РФ, Федеральных законов, Постановления Правительства Российской Федерации, исследования специалистов по дистанционному зондированию. Основную базу исследования составили материалы периодической печати, публикации по данному вопросу.

Выпускная квалификационная работа выполнена на 56 страницах. В тексте содержится 1 таблица, 8 рисунков.

1 Современные системы дистанционных методов экологического мониторинга

1.1 Характеристика дистанционного мониторинга

Одним из основных источников данных для экологического мониторинга окружающей среды являются материалы дистанционного мониторинга. Они объединяют все типы данных, полученных с носителей:

- космические (пилотируемые орбитальные станции, космические аппараты многоразового использования, автономные системы спутниковой съемки и т. д.);

- авиационные (самолеты, вертолеты и микроавиационные радиоуправляемые устройства) и составляют значительную часть удаленных данных (данные дистанционного зондирования) в качестве антонима контактных (в основном наземных) типов съемок, методов получения данных с помощью измерительных систем в физический контакт с субъектом;

- бесконтактные (дистанционные) методы съемки, помимо аэрокосмической, включают в себя различные методы морской (наводного) и наземной, включая, например, фототеодолитную съемку, сейсмо, электромагнетизм и другие методы геофизического зондирования недр, гидроакустические съемки морского дна с использованием гидролокаторов бокового обзора, другие методы, основанные на регистрации собственной или отраженной природы волнового сигнала [4, с. 92].

Аэрокосмические (дистанционные) методы экологического мониторинга окружающей среды включают в себя систему наблюдения с использованием самолетов, аэростатов, спутников и спутниковых систем, а также систему обработки данных дистанционного зондирования.

Для космического экологического мониторинга окружающей среды целесообразно сосредоточить внимание в первую очередь на полярно-орбитальных метеорологических спутниках, как на отечественные приборы

(таких, как метеор, Океан и Ресурс), так и на американские спутники серий NOAA, Landsat и SPOT.

Американские метеорологические спутники серии NOAA оснащены многозонным оптическим и инфракрасным оборудованием, а именно радиометром высокого разрешения AVHRR (усовершенствованный радиометр очень высокого разрешения). Космические аппараты NOAA запускаются на полярные орбиты на высоте около 700 км над поверхностью Земли с наклоном 98,89 градуса. Радиометр высокого разрешения обследует поверхность Земли в пяти спектральных полосах. Космические съемки проводятся с пространственным разрешением 1100 м и обеспечивают полосу обзора шириной 2700 км.

Российские спутники серии «Ресурс» принадлежат Федеральной службе России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Они предоставляют многозонную космическую информацию с высоким и средним разрешением, используя два видимых и ближнего инфракрасного сканера [26, с. 40 – 41].

Метеорологическая космическая гидрометеорологическая система «Метеор», также принадлежащая Росгидромету, обеспечивает глобальный экологический мониторинг территории России. Параметры орбиты спутника «Метеор»: приполярная круговая орбита высотой около 1200 км. Комплекс научной аппаратуры позволяет быстро 2 раза в день получать изображения облаков и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах, данные о температуре и влажности, температуре поверхности моря и облачности. Мониторинг озона и геофизический мониторинг также проводится. Бортовой комплекс спутника включает в себя несколько сканирующих ИК-радиометров и сканирующее телевизионное оборудование с системой хранения данных на борту для глобального обзора и передачи данных в автоматизированный пункт приема данных. Российская космическая система «Океан» предоставляет радиолокационные, микроволновые и оптические изображения земной

поверхности в интересах морской навигации, рыболовства и освоения морских зон Мирового океана. Одной из основных задач спутника является освещение ледовой обстановки в Арктике и Антарктике, обеспечение проводки судов в сложных ледовых условиях. Параметры спутниковой орбиты: приполярная круговая орбита высотой 600-650 км. Поток информации в облачных условиях и в любое время суток обеспечивается радиолокационным радиолокатором РЛС БО и системой сбора информации от автономных морских и ледовых станций «Кондор». Комплекс бортового оборудования спутника «Океан-01» включает микроволновые радиометры R-600 и R-255, сканирующий микроволновый радиометр Дельта-2, спектрометрический радиометр Tracer с поляризацией следа, а также комплекс оптического сканирующего оборудования [15, с. 34].

Спутниковые данные дистанционного зондирования позволяют решать следующие задачи мониторинга окружающей среды:

- определение метеорологических характеристик: вертикальных профилей температуры, интегральных характеристик влажности, характера облачности и т. д.;
- мониторинг динамики атмосферных фронтов, ураганов, получение карт основных стихийных бедствий;
- определение температуры подстилающей поверхности, оперативный контроль и классификация загрязнения почвы и воды;
- обнаружение крупных или постоянных выбросов промышленных предприятий;
- контроль техногенного воздействия на состояние лесопарковых зон;
- обнаружение крупных пожаров и выделение пожароопасных участков в лесах;
- обнаружение тепловых аномалий и тепловых выбросов крупных станций и тепловых электростанций в мегаполисах;
- проверить дымовые шлейфы из дымоходов;

- мониторинг и прогнозирование сезонных паводков и разливов рек;
- выявление и оценка масштабов основных зон затопления;
- контроль динамики снежного покрова и загрязнения снежного покрова в зонах влияния промышленных предприятий.

Основной полезной нагрузкой спутника является панхроматическая оптоэлектронная система, которая позволяет получать изображения с пространственным разрешением 1 м. Спутник может производить высокодетальную съемку одной и той же области каждые три дня, получать несколько изображений одной и той же сцены за один ход.

1.2 Компьютерные методы обработки спутниковых данных при использовании аэрокосмических съемок при дистанционном мониторинге

Целью обработки данных дистанционного зондирования является получение изображений или снимков с требуемыми радиометрическими и геометрическими характеристиками. Рассмотрим основные этапы обработки данных. В целом обработка данных дистанционного мониторинга включает три этапа:

- предварительная обработка – прием спутниковых данных, запись их на магнитный носитель, декодирование и коррекция, преобразование данных непосредственно в изображение или космическое изображение, или в форматы, удобные для последующей обработки;

- первичная обработка – коррекция искажений, вызванных нестабильностью космического аппарата и датчика, а также географической привязки изображения с наложением сетки координат, масштабированием и представлением изображения в требуемой географической проекции (геокодирование);

- вторичная (тематическая) обработка – цифровой анализ с использованием методов статистической обработки, визуальной интерпретации и дешифрирования в интерактивном или полностью

автоматизированном режиме.

Первый и второй этапы обработки теперь могут выполняться на борту космического корабля.

Многозонный опрос проводился в течение многих лет, и исследователи накопили большое количество эмпирических данных. Уже хорошо известно, какие соотношения яркости в различных областях спектра соответствуют растительности, обнаженной почве, водной поверхности, урбанизированным территориям и другим распространенным типам ландшафта, имеются библиотеки спектров различных природных образований. Выражая эти отношения в виде линейных комбинаций разных зон, можно получить так называемые индексы. Поскольку многие современные системы дистанционного зондирования Земли проводят съемки в видимой красной и ближней инфракрасной частях спектра, распространенным методом является расчет нормализованного индекса растительности (NDVI). Нормализованный растительный индекс показывает наличие и состояние растительности по соотношению отраженных энергий в 2 спектральных каналах [21, с. 56].

Эта зависимость основана на различных спектральных свойствах хлорофилла в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Индексы растительности можно рассматривать как промежуточный этап перехода от эмпирических показателей к реальным физическим свойствам растительного покрова. Часто рассчитывают универсальные и территориально связанные индексы: индекс поверхности листьев LAI или PAR – индекс активного фотосинтетического излучения, поглощенного растительностью, и т.д. Индекс LAI можно измерять на месте. В настоящее время в интернете ежемесячно публикуются растровые изображения LAI (пространственное разрешение 250 м) для всего мира. Эти данные в сочетании с методами многоспектральной классификации изображений могут значительно повысить надежность обработки изображений в экспертных системах, учитывающих различную информацию.

Как известно, антропогенное воздействие на окружающую среду приводит к масштабным неразрешимым противоречиям между интересами развития производства и охраны природы, поскольку в результате интенсивного использования природных ресурсов разрушаются природные системы и сильно загрязняется окружающая среда. Вернувшись в Стокгольм на Первой международной конференции ООН, по экологической оценке, в 1972 году, было признано, что экологическое состояние природной среды в промышленно развитых странах стало угрожать не только здоровью населения, но и самому существованию человечества. Решение этих проблем, возникающих в связи с катастрофическим ухудшением природной среды, в настоящее время занимает центральное место в разработке стратегии экологически устойчивого социально-экономического развития промышленно развитых стран, в том числе России. В последние годы в круг фундаментальных исследований экологических проблем в России широко вовлекаются космические методы мониторинга состояния экосистем.

Появление глобальной компьютерной сети интернет и развитие передовых информационных технологий открыли новый этап в развитии космического мониторинга окружающей среды. Особенностью нового этапа является широкое использование телекоммуникационной инфраструктуры, а также гипертекстовых и интерактивных информационных технологий, которые чрезвычайно перспективны в дистанционном мониторинге окружающей среды. Интеграция национальных информационных ресурсов по окружающей среде, создание региональных баз данных и расширение электронных коллекций на основе результатов космического экологического мониторинга также имеют значение. Развитие технологий космического наблюдения, создание инфраструктур спутникового мониторинга окружающей среды в регионах России, а также разработка системы мониторинга окружающей среды в реальном времени призваны сыграть ключевую роль в обеспечении экологической безопасности и

устойчивого развития экономики России.

В связи с этим создаются Центры космического мониторинга, которые осуществляют оперативный контроль за состоянием окружающей среды и природных ресурсов (например, Институт солнечно-земной физики СО РАН, г.Иркутск), создают многоуровневые информационные системы пространственно-временного мониторинга окружающей среды, включая технические и программные средства для сбора, обработки, анализа и хранения спутниковой информации.

Во всем мире исследование Земли из космоса становится всеобъемлющим. Наиболее информативным методом решения задач дистанционного исследования земной поверхности из космоса является использование и тематический анализ изображений, полученных с помощью приборных комплексов различных частотных диапазонов, установленных на космических аппаратах. Ряд спутников, оснащенных устройствами дистанционного зондирования (радары, скаттерометры, радиометры и оптическое оборудование), специально выведены на орбиту для получения разносторонней геофизической информации, необходимой для оценки состояния окружающей среды и исследования природных ресурсов.

Создание геоинформационной системы для работы с данными космического мониторинга, которая позволяет прогнозировать возникновение чрезвычайных ситуаций, реагировать на них, планировать работы по противодействию, оценивать ущерб [1, с. 38].

Функциональность ГИС подразумевает возможность хранения, визуализации и анализа данных космического мониторинга. Система должна обеспечивать:

- автоматизация загрузки данных;
- методология и инструменты для интерпретации ситуации в зоне чрезвычайной ситуации с использованием спутниковых снимков;
- формирование отчетных материалов (ситуационных карт);
- базовая пространственная поддержка в виде высоко

детализированного и современного охвата космических снимков, картографических и топографических данных;

- интеграция дополнительных источников данных (кадастр, внутренние базы данных).

В ходе реализации проекта была создана ГИС «Космоплан» с доступом через локальную сеть МЧС для специалистов отдела космического мониторинга МЧС и сотрудников дежурных смен в республиканских и региональных центрах. Созданная информационная система позволила:

- повысить оперативность и полноту получения информации для предоставления отчетных документов специалистами Управления космического мониторинга о наличии необходимых космических данных для определенной территории;

- интегрировать информационные системы космического мониторинга чрезвычайных ситуаций;

- улучшить качество производных продуктов космической съемки за счет автоматизации обработки и доступности инструментов данных;

- создать каталог ситуационных карт и разработать методологию анализа ситуации в аварийной зоне;

- усовершенствовать систему формирования отчетных документов по данным космического мониторинга;

- создать технологию 3D-визуализации для оценки ситуации в аварийной зоне с использованием высокоточной информации о местности и оперативной космической съемке.

«Космоплан» состоит из нескольких компонентов:

- подсистема подготовки данных отвечает за обработку необработанного потока информации, включая извлечение метаданных в стандартном формате и подготовку данных для публикации в полном пространственном разрешении. Подсистема получает данные из различных источников – от российских спутников через Роскосмос, от приемных станций МЧС СКМ, данные от иностранных спутников от коммерческих

поставщиков;

- веб-геоинформационная система на базе платформы GeoMixer, которая включает в себя как общие функциональные возможности для каталогизации, визуализации и работы с пространственными данными, так и специализированные приложения, ориентированные на анализ ситуации в аварийной зоне

- внешние подключенные геосервисы.

В зависимости от специфики задачи для получения информации используются оптические и радиолокационные изображения различного спектрального диапазона и пространственного разрешения. Обработка изображений осуществляется автоматизированными методами и визуально-интерактивным методом расшифровки эксперта [11, с. 68].

Результатом работы, выполненной специалистами «СКАНЭКС», являются:

- ортофототрансформированные спутниковых данных на территорию интереса;

- векторный слой результатов дешифрования.

Результаты космического мониторинга могут быть использованы для решения широкого круга задач МЧС, в частности, для:

- оперативный мониторинг лесных пожаров;

- контроль несанкционированных сельскохозяйственных участков;

- учет территорий, пострадавших от пожаров;

- мониторинг течения паводков и половодья;

- выявление случаев загрязнения природной среды на шельфе и акватории морей в результате чрезвычайных ситуаций;

- выявление случаев загрязнения природной среды на суше в результате чрезвычайных ситуаций;

- мониторинг состояния аварийных судов (севших на мель, застрял во льду и т.д.);

- мониторинг состояния территории и объектов в местах

возникновения техногенных и природных чрезвычайных ситуаций.

Задачи Министерства по чрезвычайным ситуациям предполагают использование широкого спектра данных дистанционного зондирования различного спектрального диапазона и пространственного разрешения, включая данные оптических и радиолокационных изображений, обеспечивающие необходимую скорость и частоту информации. Приложение определенного типа данных определяется спецификой решаемой прикладной проблемы. Предоставленная частота сбора данных варьируется от нескольких опросов в день до 3-4 опросов в год. Оптимальным является набор следующих данных:

- мультиспектральные и панхроматические изображения оптического диапазона среднего (2-20 м), высокого и сверхвысокого пространственного разрешения (0,5-1,5 м) – используются для мониторинга последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (транспортные аварии, разливы нефти) на суше, последствия землетрясений и цунами и т.д.), мониторинг пожаров и оценка их последствий, мониторинг наводнений и т.д.;

- данные радиолокационной съемки среднего пространственного разрешения (8-50 м) – используются в основном для мониторинга морских районов (ледовая и судовая обстановка, разливы нефти и т.д.) и для мониторинга паводковой ситуации;

- данные радиолокационной съемки высокого пространственного разрешения (1-5 м) – используются для мониторинга паводковой ситуации (заторы на реках, наводнения), а также для гарантированного обеспечения съемки в случаях сплошных облаков при природных и техногенных чрезвычайных ситуациях;

- мультиспектральные оптические данные низкого пространственного разрешения (250-1000м) – используются для регулярного высоко-периодического мониторинга на больших территориях (условия пожаров и наводнений, ледовые условия, вулканические выбросы и т.д.).

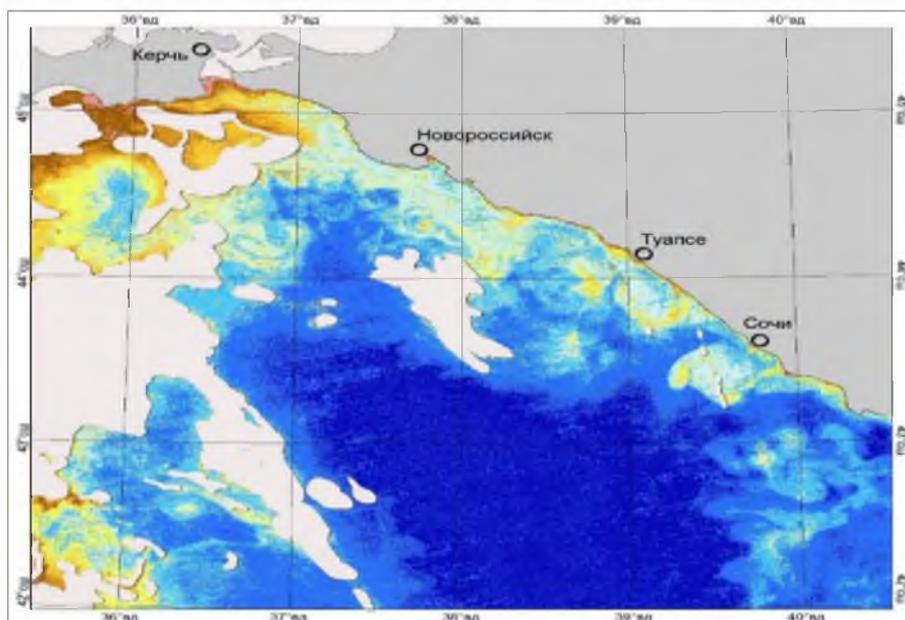
2 Оценка дистанционного мониторинга Российского сектора Черного и Азовского морей

2.1 Применение дистанционного зондирования при мониторинге Черного и Азовского морей

Организация спутникового мониторинга учитывает мировой опыт такой работы, а также особенности источников загрязнения и динамику водной среды Азово-Черноморского бассейна.

Используя разработанную технологию, регулярно выпускается 12-14 видов спутниковой информационной продукции (рисунок 1), в том числе карты загрязнения моря нефтепродуктами, циркуляции воды, распределения фитопланктона и водорослей, концентрации хлорофилла-а, распределения коэффициента диффузного ослабления, температура поверхности моря, движущий ветер, изменения уровня моря, результаты автоматического распознавания водных объектов и т.д., а также обобщенные карты-схемы состояния водной среды.

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ФГБУ "НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР КОСМИЧЕСКОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ "ПЛАНЕТА"



Тематическая карта состояния водной среды участка Черного моря, полученная с помощью метода распознавания без обучения по данным ИСЗ Aqua/MODIS, разрешение 250 м, 30.10.2013 г. (спектральные каналы 0,620-0,670 мкм; 0,545-0,565 мкм; 0,459-0,479 мкм).



Рисунок 1 – Космический мониторинг[24]

Параллельно со спутниковой информацией систематизируются и анализируются наземные измерения на метеостанциях в Сочи, Туапсе, Новороссийске, Керчи, Приморско-Ахтарске и Ростове-на-Дону, а также на гидрологических постах, расположенных в устьях рек. реки Дон, Кубань и Сочи. Эти данные используются для комплексного анализа гидрометеорологической и экологической ситуации.

Каждый год более 1100 спутниковых снимков видимого, инфракрасного и микроволнового диапазонов Метеор-М № 1, Метеор-М № 2, Канопус-Б №. 1, TERRA, AQUA, NOAA, Jason, Landsat-8, MetOp-A и Meteosat-10 получены и обработаны как часть мониторинга.

Выпускаются декадные обзоры с результатами спутникового анализа данных и оценки загрязнения воды, а также ежемесячные и итоговые бюллетени спутникового мониторинга российского сектора Черного и Азовского морей, которые передаются в управление Федеральной службы по гидрометеорологии и экологический мониторинг Южного федерального округа и Южного федерального округа «Юг – Метео» для дальнейшей рассылки пользователям Южного федерального округа.

Результаты спутникового мониторинга состояния и загрязнения водной среды российского сектора Азово-Черноморского бассейна позволяют оперативно контролировать загрязнение воды, изучать закономерности береговой циркуляции и их влияние на распространение загрязнения. Определить типичные ситуации распространения загрязнения в прибрежных водах. Полученные результаты способствуют повышению достоверности картирования экологической обстановки, прогнозированию динамики распространения загрязнения, расширению знаний о динамике и загрязнении прибрежных вод Черного и Азовского морей [6, с. 13 – 15].

В период с ноября по март из-за низких углов Солнца, увеличения облаков и увеличения динамики поверхностных вод в акватории российского сектора Азово-Черноморского бассейна спутниковый мониторинг проводится в уменьшенном объеме (расшифровка пленок

нефтяного загрязнения на поверхности моря, и никаких десятилетних обзоров и ежемесячных бюллетеней не выпускается).

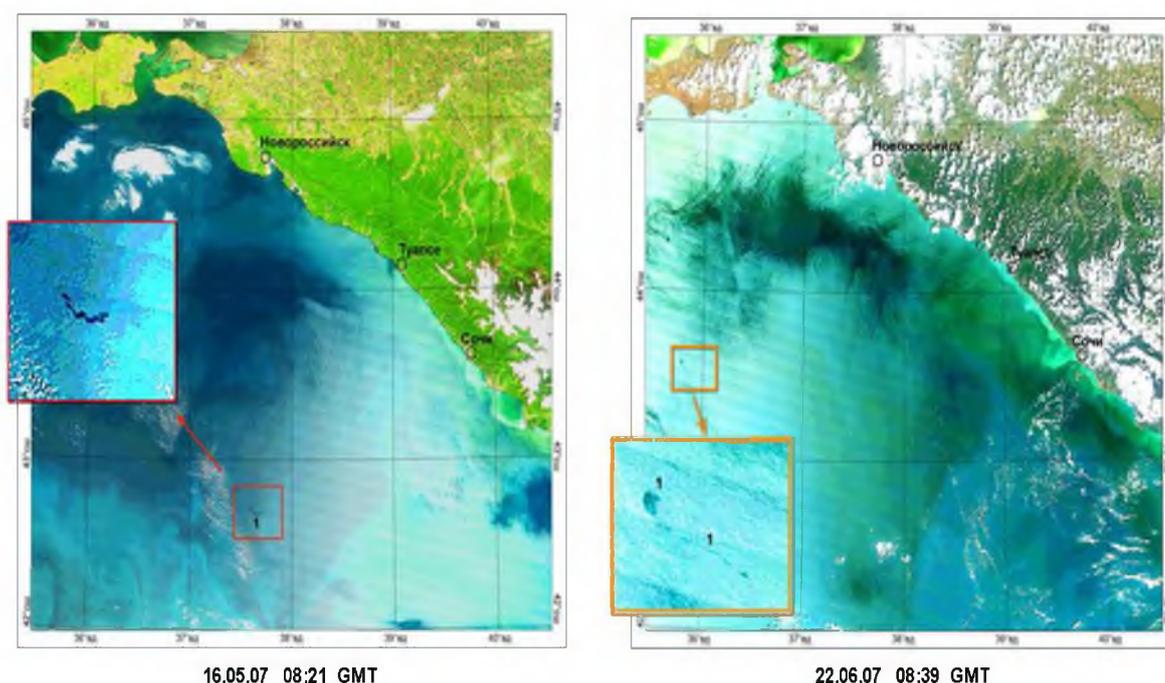
Используя разработанную технологию, регулярно выпускаются 12 видов спутниковой информационной продукции, в том числе карты загрязнения моря нефтепродуктами, циркуляции воды, распределения фитопланктона и водорослей, концентрации хлорофилла-а, распределения коэффициента диффузного ослабления, температуры поверхности моря, движущего ветра изменения уровня моря, результаты автоматического распознавания водных объектов и т.д., а также обобщенные карты-схемы состояния водной среды.

Проблема загрязнения морей и прибрежных вод стала глобальной. Особенно опасно для окружающей среды загрязнение воды нефтепродуктами. Аварии нефтяных танкеров, сброс из танкеров балластной воды, содержащей высокую концентрацию нефтепродуктов, утечки во время бурения нефти и трубопроводов в прибрежных районах океана и т.д. Часто приводят к тому, что большие объемы нефтепродуктов попадают в море. Попадая в морскую среду, нефтепродукты оказывают пагубное воздействие на фауну и флору моря, нарушают процессы физического, химического и биологического обмена в системе океан-атмосфера, наносят значительный ущерб индустрии туризма и отдыха[27, с. 51 – 52].

Своевременное обнаружение и принятые экстренные меры по предотвращению распространения загрязнения могут значительно уменьшить наносимый ущерб. Поэтому мир придает большое значение созданию систем обнаружения и контроля загрязнения морской среды. Спутниковые системы дистанционного мониторинга и, в частности, спутниковые радиолокационные наблюдения являются эффективными средствами контроля загрязнения воды нефтепродуктами. Они предоставляют информацию о загрязнении морской поверхности независимо от света и облачного покрова, в широком поле зрения и с высоким пространственным разрешением.

Авиационные наблюдения широко используются для мониторинга загрязнения морской поверхности. Тем не менее, аэрофотосъемка загрязнения морской поверхности имеет дело с большим количеством ограничений, чем при спутниковых наблюдениях.

Ограничения (как со спутника) условий съемки. Аэрофотосъемка не всегда позволяет выявить характерные для пятен, содержащие нефтепродукты, след радуги: это зависит от освещенности, углов обзора, степени развития поверхностных волн(рисунок 2).



ИСЗ Terra. MODIS, разрешение 250 м. спектральные каналы: 0,620-0,670 мкм; 0,545-0,565 мкм; 0,459-0,479 мкм

Рисунок 2 – Нефтяные пленки [25]

Невозможность единовременного полного охвата всей контролируемой акватории. Для охвата больших площадей моря используется полигональная съемка, которая не обеспечивает контроль загрязнения на больших площадях в промежутках между галсами, в связи с чем существует высокая вероятность пропуска крупных ($> 0,01 \text{ км}^2$) разливов нефти (в соответствии с согласно международным требованиям CEOS, все нефтяные загрязнения,

площадь которых превышает 0,01 км², должны пройти обязательную регистрацию).

Ограниченные полеты обусловлены режимом секретности расположения объектов (военных объектов, атомных электростанций, хранилищ опасных химических веществ и т.д.) на побережье или другими запретами, введенными официальными органами государственной власти.

Несмотря на ограничения, спутниковые радиолокационные наблюдения на сегодняшний день являются наиболее эффективным средством мониторинга нефтяного загрязнения на поверхности моря. В мире спутниковый радиолокационный мониторинг нефтяного загрязнения морской среды развивается по четырем направлениям:

- использование спутникового радиолокационного наблюдения в составе национальных систем оперативного контроля нефтяного загрязнения прибрежных и территориальных вод;

- осуществление оперативного контроля загрязнения нефтью в отдельных морях в рамках международных соглашений между странами соответствующего региона;

- реализация национальных и международных проектов по космическому мониторингу загрязнения Российских морей;

- реализация проектов в интересах частных коммерческих компаний, связанных с добычей и транспортировкой нефтепродуктов на шельфе.

Согласно международной терминологии, загрязнение морской среды – это введение человеком, прямо или косвенно, в морскую среду веществ, вредных для животных и растений, создающих опасность для здоровья человека, ухудшающих качество морской среды, снижающих ее полезные свойства [2, с. 42].

Загрязнение, попадающее в водную среду, классифицируется по-разному, в зависимости от подходов, критериев и целей. Итак, обычно делятся на химические, физические и биологические загрязнения.

Каждый водоем или источник воды связан с окружающей средой. На

него влияют условия формирования поверхностных или подземных водотоков, различные природные явления, промышленность, промышленное и коммунальное строительство, транспорт, хозяйственная и бытовая деятельность человека. Следствием этих влияний является введение в водную среду новых, необычных веществ-загрязнителей, ухудшающих качество воды (рисунок 3).

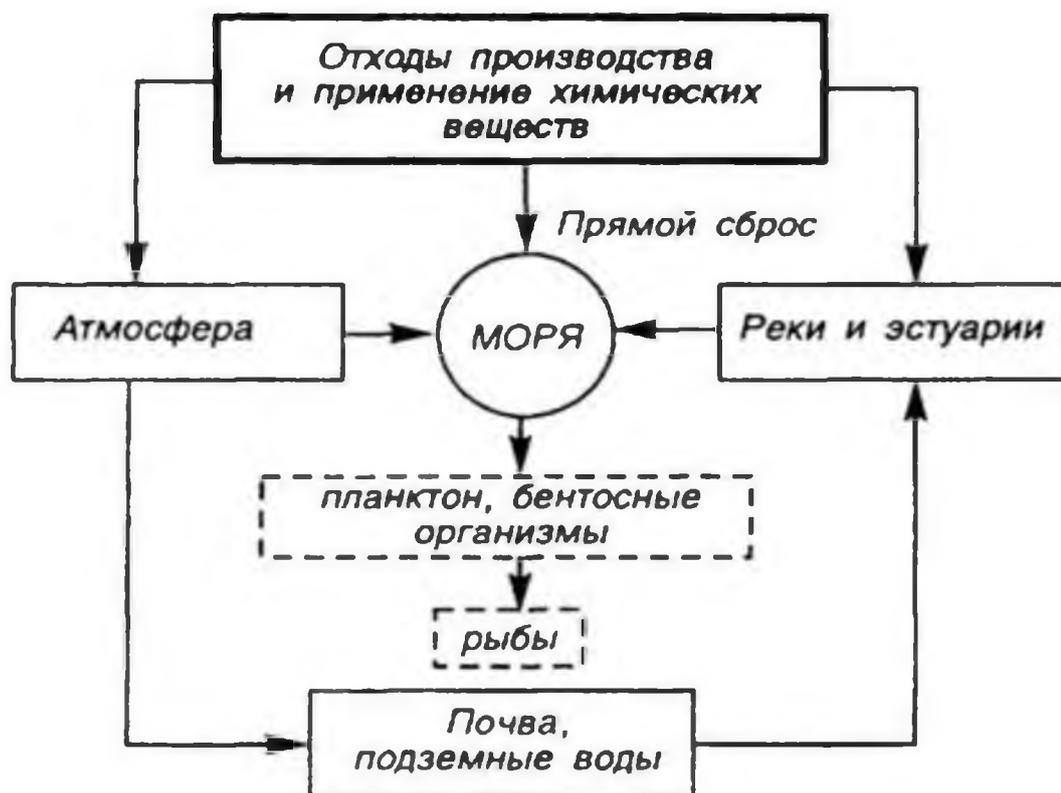


Рисунок 3 – Пути попадания загрязнителей в море [29]

2.2 Анализ степени загрязнения Черного и Азовского морей

В последние десятилетия в связи с интенсификацией химической, пищевой промышленности, сельскохозяйственной деятельности, отсыпкой грунта, добычей песка, транспортировкой нефти и газа, развитием портовой инфраструктуры, антропогенным загрязнением шельфовой зоны Черного и Азовского морей биогенные элементы и ксенобиотики резко возросли. Загрязнение происходит через речной и прибрежный сток.

Моря загрязнены не только сточными водами от сооружений, расположенных на берегу, но и стоками судов, расположенных в портах на

рейде. Сброс в море балластных вод с танкеров считается основным источником нефтяного загрязнения прибрежных морских вод и побережий. Загрязнение прибрежных морских вод может происходить в процессе погрузки и разгрузки, а также бытовых сточных вод. Таким образом, порты являются значительным источником антропогенных загрязнителей морей.

В ходе мониторинга природной среды российского сектора Азовского и Черного морей в 2015 году было получено, обработано и проанализировано более 3000 спутниковых изображений в видимом, инфракрасном и микроволновом диапазонах электромагнитного спектра с девяти спутников, используемых для дистанционного зондирования Земли. Было выпущено 14 видов оперативной спутниковой информационной продукции, в том числе карты загрязнения моря пленками поверхностно-активных веществ, распределения фитопланктона и водорослей, концентрации хлорофилла-а, температуры поверхности моря и т.д., а также обобщенные карты-схемы состояния и загрязнения морской среды [19, с. 71].

Экологическая ситуация в российском секторе Черного моря в апреле была нестабильной: достаточно благоприятной в 3-й декаде и неблагоприятной в 1-й и 2-й декаде, что было связано с осадками, таянием снега в горах, нестабильной гидродинамической ситуацией в прибрежной зоне из-за сильных ветров и частых изменений его направления, низкой интенсивности развития фитопланктона (из-за недостатка солнечной радиации) и механизмов биологической очистки моря.

Сложившаяся гидродинамическая ситуация частично способствовала обмену воды между прибрежной зоной и открытым морем и частично блокировала северо-западный перенос воды, что привело к локальному накоплению загрязнений в прибрежной зоне. Обмену вод между прибрежной зоной и открытым морем способствовала активность вихрей разного масштаба в шельфово-уклонной зоне. В 3-й декаде развитие фитопланктона активизировалось в условиях низкой облачности, и в поверхностном слое моря было отмечено увеличение площадей, покрытых пленками веществ

биогенного происхождения.

В первой декаде апреля краткосрочные трансграничные течения наблюдались в устьях рек Шахе и Туапсе, Архипо-Осиповки, мыс Чуговкопас, п. Дивноморское, мыс Мышако, Бугазской косы, мыс Меганом. Местные скопления загрязнений в прибрежной зоне наблюдались на участках Адлер – Туапсе, Бугазской косе – мыс Железный Рог, в заливах Каламитмитском и Каркинитском (рисунок 4). Приток грязных прибрежных вод из абхазского сектора моря был ослаблен.

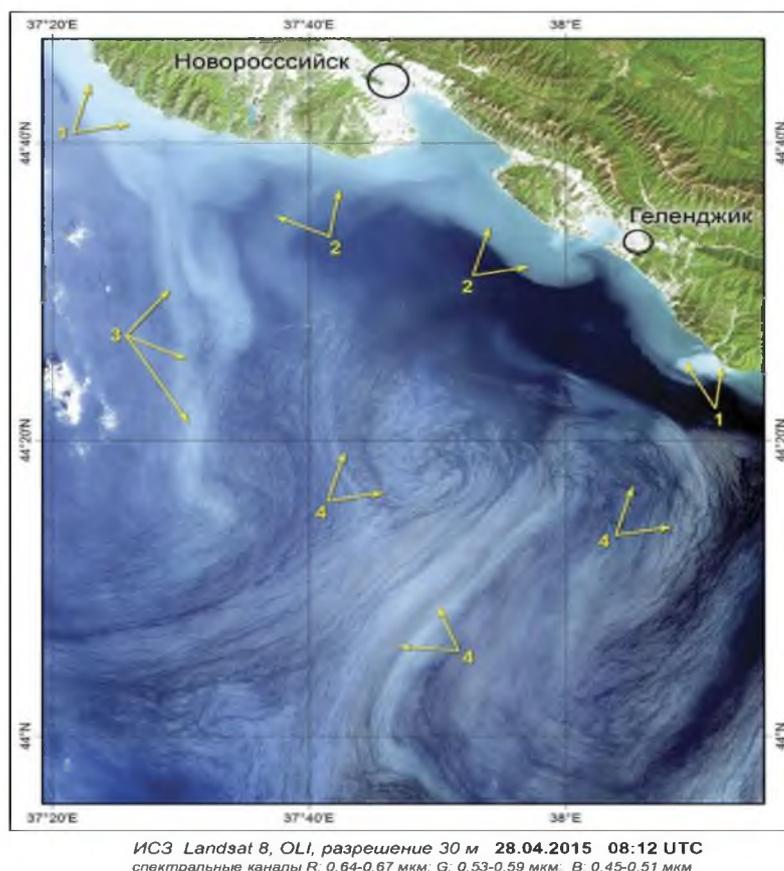


Рисунок 4 – Цветосинтезированное изображение части Черного моря и результат его дешифрирования [25]

1 – сильно взволнованные воды, 2 – слабо взволнованные воды, 3 – восходящая струя, 4 – пленки биогенного происхождения вдоль линий тока поверхностных течений в вихревой дипольной области.

Концентрации хлорофилла-а и значения K_d в центральной части моря составляли $0,6-0,7 \text{ мг/м}^3$ и $0,078-0,085 \text{ м}^{-1}$, в зоне склона и в глубоководных районах в зоне вихревых структур – $0,7-1,0 \text{ мг/м}^3$ и $0,085-0,10 \text{ м}^{-1}$. В

прибрежной зоне концентрации хлорофилла были нестабильны. Преобладающие концентрации хлорофилла-а и Kd от Адлера до мыса Идокопас составляли 1,0-1,5 мг/м³ и 0,10-0,13 м-1, в некоторые дни (1 и 10 апреля) регистрировались значения 1,5-2,5 мг/м³, в Керченском проливе 2-3 мг/м³. Воды Азовского моря, входящие в Черное море, распространяются в обоих направлениях от пролива с преобладанием западного течения в Феодосийский залив. От мыса Железный рог до Анапы содержание хлорофилла-а во 2-й половине декады достигло 1,5-2,5 мг/м³, значения Kd – 0,13-0,20 м-1, вдоль Керченского полуострова и в Феодосийском заливе 2,0-3,0 мг/м³. и 0,16-0,21 м-1. Вдоль западного побережья Крыма в заливах Каламитском и Каркинитском концентрации хлорофилла-а составляли 2-5 мг/м³, значения Kd составляли 0,16-0,32 м-1. Преобладающие значения NLW_551 в области основного черноморского течения и вихревых структур составляли 1,0-1,5 мВт см-2 мкм-1 стер-1. Максимальные значения 1,5-3,0 мВт см-2 мкм-1 стер-1 наблюдались 5 апреля в бухтах Каламитском и Каркинитском, от мыса Чауда до Бугазской косы, 6 апреля в прибрежной полосе от Адлера до Новороссийской бухты и от Анапы до мыса Чауда.

Во второй декаде апреля трансграничные течения наблюдались в районах мыса Пицунда, Адлер, Лазаревское-Аше, мыса Грязнова, Новомихайловский-Джубга, мыса Идокопас, мыса Мысхако, Бугазская коса, мыса Херсонес. Местные скопления загрязнений в прибрежной зоне наблюдались в Адлер – Туапсе, Анапе – мыс Железный Рог, в бухтах Каламитском и Каркинитском. Приток грязных прибрежных вод из абхазского сектора моря был ослаблен.

Концентрации хлорофилла-а и значения Kd в центральной части моря составляли 0,7-0,8 мг/м³ и 0,085-0,09 м-1, в зоне склона и в глубоководных районах в зоне вихревых структур – 0,8-1,1 мг/м³ и 0,09-0,12 м-1. Преобладающие значения концентраций хлорофилла-а и КД в прибрежной зоне от Адлера до мыса Идокопа составляли 1,1-1,8 мг/м³ и 0,12-0,17 м-1 в некоторые дни (11, 13, 15 и 17 апреля) от Адлера до мыса Грязнова, а в

Каламитском заливе были зарегистрированы значения $1,5-2,5 \text{ мг/м}^3$, в Керченском проливе $2-3 \text{ мг/м}^3$. В междурядных течениях из районов мыса Пицунды, Адлера, Лазаревского – Аше, мыса Грязнова, Новомихайловского – Джубга, мыса Идокопаса, мыса Мысхако, Бугазской косы, мыса Херсонеса, хлорофилла-а были концентрации и значения K_d $2,0-2,5 \text{ мг/м}^3$ и $0,17-0,20 \text{ м-1}$ в струях апвеллинга 11-13 апреля у западного побережья Крыма, в секторе мыса Меганом – мыса Мысхако, а также в секторе мыса Идокопас – мыса Грязнова, концентрации хлорофилла-а и значения K_d достигли $2,5-3,0 \text{ мг/м}^3$ и $0,20-0,22 \text{ м-1}$. Воды Азовского моря, входящие в Черное море, распространяются в обоих направлениях от пролива с преобладанием западного течения в Феодосийский залив. От мыса Железный Рог до Анапы содержание хлорофилла-а в отдельные дни достигало $2,0-3,0 \text{ мг/м}^3$, значения K_d – $0,17-0,22 \text{ м-1}$, вдоль Керченского полуострова и в Феодосийском заливе $2,0-3,0 \text{ мг/м}^3$ и $0,17-0,22 \text{ м-1}$.

Вдоль западного побережья Крыма в заливах Каламитском и Каркинитском концентрации хлорофилла-а находились в диапазоне $2-5 \text{ мг/м}^3$, значения K_d – $0,15-0,32 \text{ м-1}$. Преобладающие значения NLW_{551} в области основного черноморского течения и вихревых структур составляли $1,0-1,5 \text{ мВт см-2 микрон-1 стер-1}$. Максимальные значения $1,5-3,0 \text{ мВт см-2 микрон-1 стер-1}$ наблюдались 11-13 и 15-17 апреля от Анапы до Феодосийского залива, 11-15 апреля в заливах Каламитском и Каркинитском, 17 апреля в прибрежной полосе от Адлера до Новороссийска, 11-13 апреля в апвеллинговых струях у западного побережья Крыма, в секторах мыса Меганом – мыса Мысхако и мыса Идокопас – мысе Грязнова.

В третьей декаде апреля трансграничные течения наблюдались в районах Адлера, м.Грязнова – м.Чуговкопас, Джанхот – м.Идокопас, Геленджик – Мысхако, м.Херсонес. Местные скопления взволнованных вод в прибрежной зоне наблюдались в Туапсе – Новороссийске, Анапе – м. Чауда, в заливах Каламитском и Каркинитском. Приток грязных прибрежных вод из абхазского морского сектора в первой половине десятилетия был ослаблен,

во второй половине декады – увеличен.

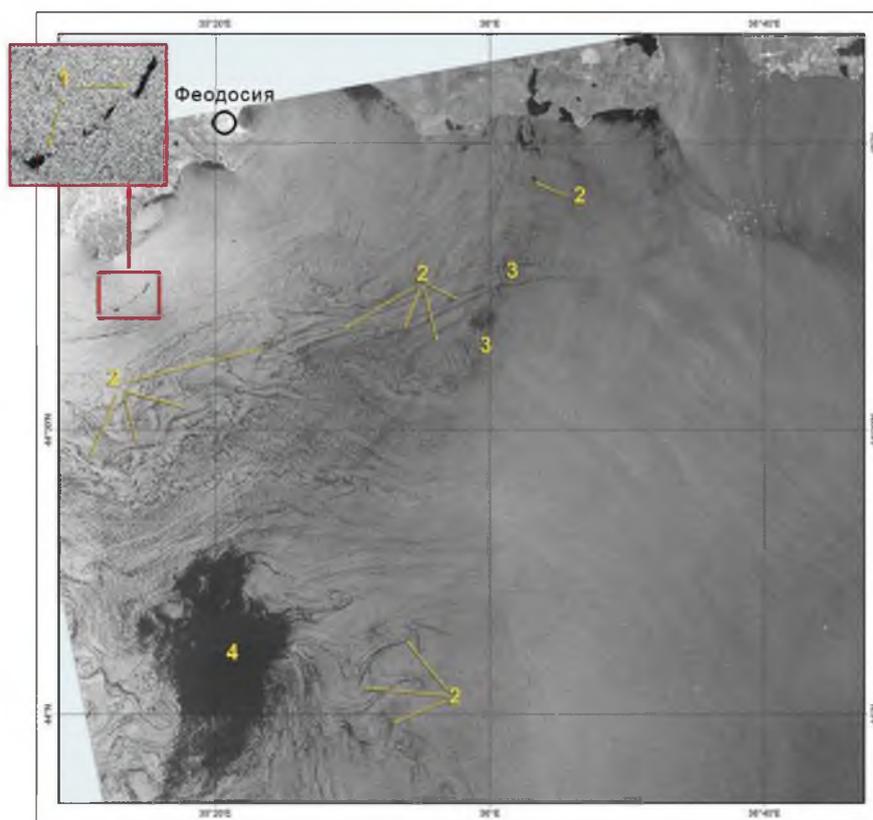
Концентрации хлорофилла-а и значения K_d в центральной части моря составляли 0,6-0,8 мг/м³ и 0,078-0,09 м-1, в зоне склона и в глубоководных районах в зоне вихревых структур – 0,8-1,3 мг/м³ и 0,09-0,12 м-1. В прибрежных зонах от Адлера до Новороссийский залив от Анапы до Феодосийского залива в бухтах Каламитском и Каркинитском зафиксировал значения до 2,0-3,0 мг/м³. В междурядных течениях из районов Адлера. м.Грязнов – м.Чуговкопас, Джанхот – м.Идокопас, Геленджик – Мысхако, м.Херсонес концентрации хлорофилла-а и значения K_d составляли 1,5-2,5 мг/м³ и 0,15-0,20 м-1 в струях апвеллинга 28 апреля у м.Мысхако и м.Херсонес концентрации хлорофилла-а и значения K_d составляли 1,5-2,0 мг/м³ и 0,15-0,17 м-1. Воды Азовского моря, впадающие в Черное море, распространяются на обе стороны пролива с преобладанием западного течения. Преобладающие значения NLW_{551} в области основного потока основного черноморского течения и вихревых структур составляли 1,0-1,5 мВт см-2 мкм-1 стери-1. Максимальные значения 1,5-3,0 мВт см-2 микрон-1 стер-1 наблюдались 21-22 апреля в заливах Каламитском и Каркинитском, 22-25 апреля от Анапы до залива Феодосия, в прибрежной полосе от Адлера до Новороссийска и в приграничном течении от Адлерского района, 28 апреля в шельфовой зоне от Адлера до м.Чуговкопас.

В апреле 2 случая загрязнения морской среды акватории Черного моря нефтепродуктами были обнаружены на изображениях, полученных с помощью оборудования SAR-C ИСЗ Sentinel-1 и КМСС ИСЗ «Метеор-М» №2.

1 – пленки нефтяного загрязнения судов, 2 – пленки биогенного происхождения, направленные вдоль токовых линий поверхностных течений, 3 – проявление влияния внутренних волн в атмосфере на взволнованную морскую поверхность, 4 – область ветрового спокойствия.

11 апреля в 15:27 по Гринвичу в прибрежной зоне Крымского полуострова в районе 44,72°с.ш. и 35,14°в.д. наблюдался прерывистый след

судовых сбросов нефтесодержащих вод общей длиной около 8,5 км и площадью 1,7 км² на расстоянии 8,5 км от м.Меганом (рисунок 5).



ИСЗ Sentinel-1/SAR-C, © ESA, разрешение 20 м, 11.04.2015 15:27 UTC

Рисунок 5 – Радиолокационное изображение Черного моря у побережья п-ва Крым и результат дешифрирования [25]

В Азовском море в апреле экологическое состояние вод в основном определялось интенсивностью воздействия ветра. 3-10 апреля преобладал сильный ветер в разные стороны, достигающий 13-17 м/с, что привело к перемешиванию донных отложений и перераспределению вод повышенной мутности в морской зоне. 9-10 апреля был северо-восточный и северный ветер 11-16 м/с, и в западных и северо-западных районах моря наблюдалось скопление вод повышенной степени помутнения. 14-21 и 23-26 апреля сильные ветры западного квартала преобладали до 10-15 м/с. Накопление взволнованных вод наблюдалось в основном в восточных и северо-восточных районах моря. В последующие дни при слабом ветре наблюдалось отложение взвеси, увеличение прозрачности вод.

27 апреля в 07:59 UTC в секторе западного побережья Крымского

полуострова в районе $45,38^{\circ}$ с.ш. и $32,07^{\circ}$ в.д. был обнаружен прерывистый след морских сбросов нефтесодержащих вод общей длиной около 17,7 км на расстоянии 35,7 км от м.Тарханкут (рисунок 6).

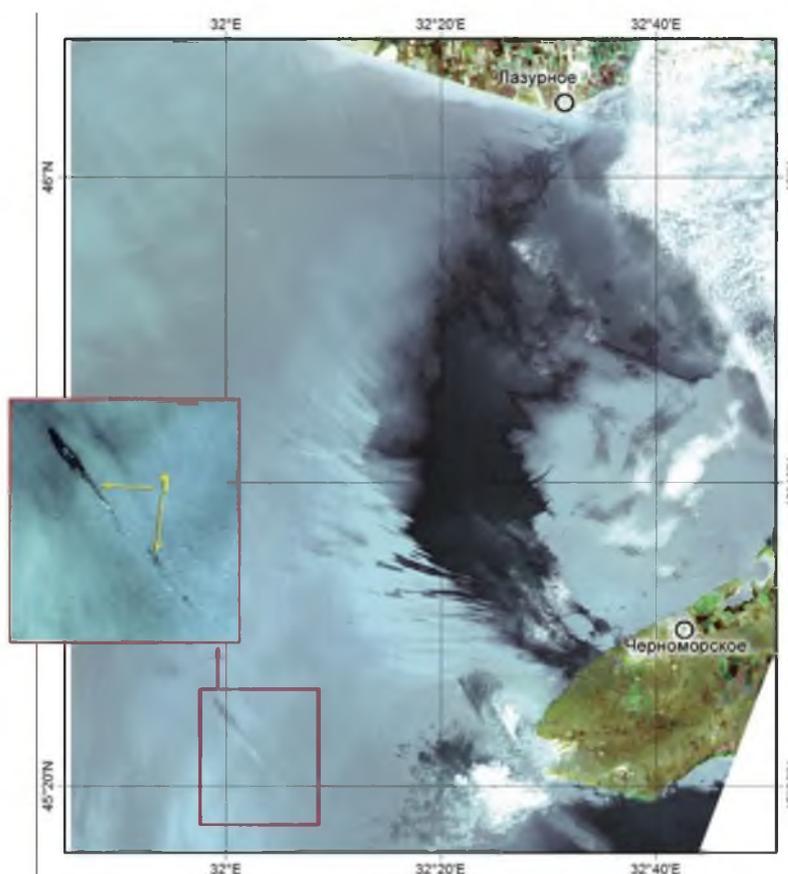


Рисунок 6 – Дешифрирование нефтяных пленок на цветосинтезированном изображении Черного моря у западного побережья п-ова Крым [25]

Экологическая ситуация в российском секторе Черного моря с точки зрения степени помутнения вод и концентрации хлорофилла и в мае на большей части акватории была в основном благоприятной. В конце 2-го и в 1-й половине 3-го декады на качество прибрежных вод оказало влияние сильный северо-восточный ветер, который сопровождался в секторе от Туапсе до Севастополя явлениями подъема, увеличение по биопродуктивности и степени помутнения шельфовых вод. Во 2-й половине мая, когда верхний слой воды прогрелся до $19-20^{\circ}\text{C}$, некоторое увеличение мутности вод в зоне склона и в центральных районах восточной части моря также было связано с усилением развития одноклеточные водоросли –

кокколитофориды – на уровне «цветения» воды. Снижение прозрачности воды при «цветении» кокколитофоридов происходит из-за интенсивного рассеяния света на приповерхностной толщине кокколитов, в которые распадаются известковые оболочки этих водорослей. Деятельность вихрей разного масштаба, обеспечивающих обмен прибрежных вод с водами открытого моря в полосе шириной до 90-100 км, способствовала улучшению качества воды в шельфово-уклонной зоне [9, с. 69].

В первой декаде мая экологическая ситуация в российском секторе Черного моря по сравнению с 3 декадой апреля улучшилась. Несмотря на увеличение притока взвеси и загрязнения из абхазского сектора моря в прибрежные районы, произошло уменьшение ширины прибрежной полосы с максимальной мутностью и концентрацией хлорофилла-а. Поперечные шельфовые течения, которые переносили прибрежные воды в открытое море, наблюдались в районах Дагомыс – Головинка, м.Грязнов – м.Чуговкопас, а также из прибрежного района Геленджик – Мысхако. Местные скопления взмученных вод в прибрежной зоне наблюдались в Адлер – Дагомыс, Лазаревском – Туапсе, м.Железном Роге – м.Чауда, в заливе Каркинитском.

Преобладающие значения концентрации хлорофилла-а и значения K_d в центральной части моря составляли 0,5-0,7 мг/м³ и 0,07-0,085 м-1, в зоне склона и в глубоководных районах в зоне вихревых структур. 0,7-1,0 мг/м³ и 0,085-0,10 м-1, в мае 7-0,8-1,1 мг/м³ и 0,09-0,11 м-1. На перераспределение зон с повышенным фитопланктоном и высокой степенью мутности воды в зоне основного черноморского течения повлияла динамика вихревых структур.

В прибрежной зоне от Адлера до м.Идокопас преобладающие концентрации хлорофилла-а и K_d составляли 1,1-1,5 мг/м³ и 0,11-0,14 м-1. в некоторые дни (6-7 мая) в прибрежной зоне от Анапы до м.Чауды в заливе Каркинитском регистрировались значения 1,5-3,0 мг/м³. В конце декады концентрации хлорофилла-а и значения K_d составляли 2,0-3,5 мг/м³ и 0,16-0,25 м-1 в струях воды, выходящей из устьев рек Мзымта, Бзыб и Кодор.

Азовские морские воды, поступающие в Черное море, распространяются в обоих направлениях от пролива с преобладанием западного течения вдоль Керченского полуострова. Преобладающие значения показателя NLW_551 в прибрежной зоне, в зоне основного черноморского течения и вихревых структур составили 1,0-1,5 мВт см-2 мкм-1 стер-1. Максимальные значения 1,5-3,0 мВт см-2 микрон-1 стер-1 наблюдались в конце декады в шлейфах вод, выходящих из устьев рек Мзымта, Бзыбь и Кодор.

Во второй декаде мая ухудшение качества воды наблюдалось в первой половине декады в секторе Адлер – Туапсе, что было связано с интенсивным притоком взвешенных веществ и загрязнением из абхазского сектора моря. Эти взволнованные воды достигли Дагомыса и затем отклонились в морскую зону поверхностно-активного вещества, расположенного в м.Уч-Дере и антициклонический вихрь открытого моря, расположенный в зоне склона в секторе Лазаревское – Туапсе с центром около 43,8°с.ш., 39,0°в.д. Затем они вернулись в прибрежную зону вдоль западной периферии этого вихря, но со значительно сниженной концентрацией взвеси. Поперечные шельфовые течения, несущие прибрежные воды в открытое море, наблюдались в районах Адлер – Дагомыс, Лазаревское – Туапсе, м.Мысхако. Местные скопления взмученных вод в прибрежной зоне наблюдались на участках Адлер – Дагомыс, Лазаревское – Туапсе, в Каламитском и в Каркинитском заливах.

Преобладающие концентрации хлорофилла-а и Kd в центральной части моря составляли 0,6-0,7 мг/м³ и 0,078-0,085 м-1, в зоне склона и в глубоководных районах в зоне вихревых структур – 0,7-1,0 мг/м³ и 0,085-0,10 м-1. В прибрежной зоне от Адлера до м.Идокопас преобладающие концентрации хлорофилла-а и Kd составляли 1,1-1,5 мг/м³ и 0,11-0,14 м-1. В некоторые дни в прибрежной зоне от Бугазской косы до м.Чауды, в заливах Каламитском и Каркинитском были зарегистрированы значения 1,5-2,0 мг/м³. 11 и 18-20 мая концентрации хлорофилла-а и значения Kd составляли 2,0-3,5 мг/м³ и 0,16-0,25 м-1 в шлейфах вод, вытекающих из устьев рек Мзымта, Бзыбь и Кодор. Преобладающие значения показателя NLW_551 в области

основного черноморского течения и вихревых структур составляли 1,0-1,5 мВт см⁻² микрон⁻¹ стер⁻¹. Максимальные значения NLW₅₅₁ 1,5-3,0 мВт см⁻² микрон⁻¹ стер⁻¹ наблюдались 11 и 18-20 мая в шлейфах вод, выходящих из устьев рек Мзымта, Бзыбь и Кодор.

В третьей декаде мая тенденция улучшения качества воды в российском секторе Черного моря продолжалась. Приток грязных прибрежных вод из абхазского морского сектора в начале декады усилился. Взвешенные твердые частицы оттоков рек Кодор, Гумиста и Бзыбь распространяются на северо-запад в основном вдоль границы шельфа, достигая области Дагомыс. Кроме того, поток мутной воды отклонялся в морскую зону антициклоническим вихрем открытого моря на расстоянии до 80 км от берега, огибая этот вихрь вдоль его южной и восточной периферии, а затем возвращался в шельфовую зону в сектор Шепси – м.Грязнов, но со значительно сниженной концентрацией суспензии. Поперечные шельфовые течения, которые переносили прибрежные воды в открытое море, наблюдались в районах Адлер – Дагомыс, Туапсе – м.Грязнова, м.Мысхако. Местные скопления возбужденных вод в прибрежной зоне наблюдались на участках Адлер – Дагомыс, Лазаревское – Туапсе, в Каламитском и в Каркинитском заливах [7, с. 48].

Преобладающие значения концентрации хлорофилла-а и значения K_d в центральной части моря составляли 0,6-0,8 мг/м³ и 0,078-0,09 м⁻¹, в зоне склона и в глубоководных районах в зоне вихревых структур. 0,8-0,9 мг/м³ и 0,09-0,095 м⁻¹. В прибрежной зоне от Адлера до Дагомыса концентрации хлорофилла-а и K_d в первой половине десятилетия составляли 1,7-2,2 мг/м³ и 0,16-0,18 м⁻¹, во второй половине декады 0,9-1,4 мг/м³ и 0,095-0,13 м⁻¹. В прибрежной полосе от Дагомыса до Анапы концентрации хлорофилла-а составляли 0,8-0,9 мг/м³, значения K_d составляли 0,09-0,095 м⁻¹, от м.Железного рога до м.Меганом 1,7-2,2 мг/м³ и 0,16-0,18 м⁻¹, в бухтах Каламитском и Каркинитском 1,5-2,0 мг/м³ и 0,14-0,17 м⁻¹. Преобладающие значения NLW₅₅₁ составляли 1,2-1,7 мВт см⁻² мкм⁻¹ стер⁻¹. Максимальные

значения показателя NLW_551 1,7-3,0 мВт см-2 микрон-1 стер-1 наблюдались в струях воды, выходящих из устьев рек Кодор, Гумиста и Бзыбь в первой половине десятилетия и в Каркинитском заливе.

Результаты спутникового мониторинга российского сектора Черного моря, проведенного в апреле-октябре 2015 года, подтвердили выводы о наличии трех основных типов циркуляции воды и связанных с этим особенностей распределения внутримассового загрязнения в прибрежной зоне. Мониторинг этого года предоставил дополнительную информацию об изменчивости структуры главного черноморского течения и элементов водооборота.

В мае на изображениях, полученных с помощью оборудования SAR-C ИСЗ Sentinel-1, было обнаружено 6 случаев загрязнения морской среды нефтепродуктами.

Первый тип циркуляции (осень-зима) устанавливается в сентябре или октябре и обычно длится до апреля. Северная часть российского сектора находится под преимущественным влиянием интенсивного северо-восточного ветра, южная часть – юго-восточная. Вихревые образования в южной части акватории сильно ослаблены, приток прибрежных вод из абхазского сектора значителен. Прибрежное течение имеет реактивный характер и распространяется в основном вдоль границы шельфа. В центральной части кавказского сектора крупные меандры могут происходить без образования обратимого режима прибрежных течений.

3 мая 15:43 UTC на участке западного побережья Крымского полуострова обнаружены два следа нефтесодержащих вод: один из них длиной около 32 км был обнаружен в районе 45,50°с.ш. и 31,33°в.д. на расстоянии 85 км от м.Тарханкут, 2-й след длиной около 7 км в районе 45,78°с.ш. и 31,15°в.д. на расстоянии 111 км от м.Тарханкут. Еще 2 следа нефтесодержащих вод были обнаружены к юго-западу от м.Херсонеса: один из них длиной около 35 км наблюдался в районе 43,22°с.ш. и 32,33°в.д. 160

км от м.Херсонеса (рисунок 7), 2-й след длиной 4 км – в районе 43,56°с.ш. и 31,36°в.д. 200 км от м.Херсонес.

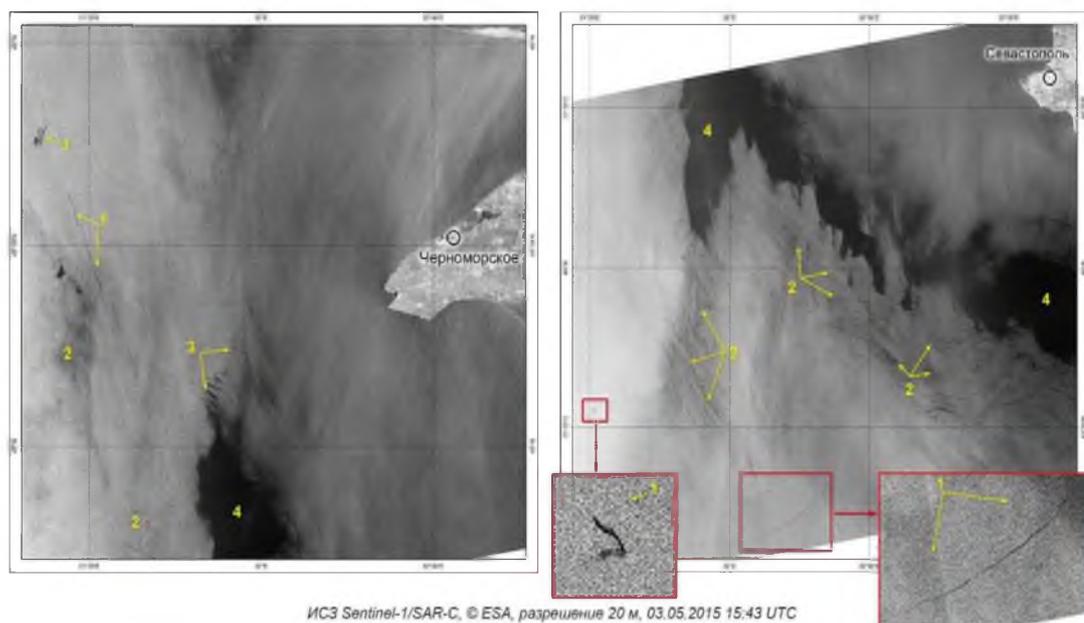


Рисунок 7 – Радиолокационные изображения Черного моря у западного побережья п-ова Крым [25]

В северной части акватории основная ветвь главного черноморского течения следует за западом приблизительно вдоль границы Таманского шельфа, но часть потока проходит через шельф, где преобладает западный водный транспорт. В южной и центральной части Кавказского сектора акватории внутримассовое загрязнение локализуется преимущественно в прибрежной зоне, преобладает северо-западный водный транспорт. В районах межполостных течений загрязнение осуществляется в открытом море. Прибрежные воды имеют довольно высокую степень прозрачности, за исключением периодов дождевых паводков на побережье, когда мутность воды значительно увеличивается из-за притока взвешенных твердых частиц из речного стока в прибрежные воды [13, с. 28].

Второй тип циркуляции (переходный) чаще всего наблюдается в мае и августе. Он формируется в условиях неустойчивых и переменных ветров и ослабления притока прибрежных вод из абхазского сектора. Основное течение Черного моря становится менее стабильным, в южной части

российского сектора зона переменных течений расширяется в глубоководную зону. В шельфово-уклонной зоне южной и центральной части Кавказского сектора акватории образуются меандры и прибрежные антициклонические вихри (ПАВ), которые, как правило, движутся вместе с основным течением основного черноморского течения, а в северной части – может оторваться от берега и последовать на запад или северо-запад. Около побережья северо-западный водный транспорт может ненадолго ослабнуть или может возникнуть прибрежное юго-восточное течение. Загрязнители в прибрежных водах распределены неравномерно. Некоторые из них переносятся через шельф под действием поверхностно-активных веществ, другая часть – вдоль берега или накапливается внутри поверхностно-активного вещества. В северной части кавказского сектора акватории структура поля течения неоднородна и зависит от поля ветра. Основной поток Черного моря частично проникает через Таманский шельф, основной поток отрывается от побережья и уходит на запад в глубоководную зону, часто образуя крупные меандры к югу от границы Таманского шельфа и в крымском секторе моря [23, с. 19 – 20].

Третий тип циркуляции (летний). Он устанавливается в условиях длительного ослабления ветра, а также снижения стока воды из абхазского сектора моря. Основное течение Черного моря ослаблено, интенсивно извивается, распадается на несколько ветвей, прибрежная ветвь и прибрежный перенос местами могут отсутствовать. Скорость прибрежного течения низкая. В центральной части кавказского сектора наблюдаются крупные сидячие антициклонические вихри, которые, постепенно смещаясь вдоль побережья, обмениваются водой через шельфовую зону и создают обратимый режим прибрежных течений. Территория распространения относительно загрязненных вод значительно расширяется в сторону открытого моря, особенно в южной части региона. В северной части акватории, когда ветер усиливается, структура поля течения может значительно измениться, приближаясь к переходному типу циркуляции.

Направление перехода по Таманскому шельфу и у западного побережья Крыма зависит от направления господствующего ветра.

Кроме того, в течение периода наблюдения возникали смешанные типы циркуляции, когда в разных частях региона наблюдались эффекты, свойственные различным типам циркуляции.

Данные о распространенности различных типов циркуляции воды за период наблюдения в 2015 году представлены в таблице 1. Первый показатель отражает характер циркуляции в северной части акватории, второй – на юге.

Таблица 1 – Типы циркуляции вод и распределения загрязнений в шельфово-склоновой зоне российского сектора Черного моря в апреле-октябре

Месяцы	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
1 декада	½ тип	2/3 тип	3/3 тип	3/2 тип	2/2 тип	3/2 тип	1/1 тип
2 декада	2/1 тип	2/3 тип	2/3 тип	3/2 тип	3/2 тип	2/2 тип	1/1 тип
3 декада	2/2 тип	2/2 тип	3/2 тип	3/2 тип	3/1 тип	2/2 тип	1/1 тип

Анализ данных космического мониторинга подтвердил важную роль мезомасштабных антициклонических вихрей, возникающих у склона континентального шельфа у кавказского побережья Черного моря. Такие антициклоны имеют значительные размеры (от 30-40 до 70-80 км в поперечнике) и длительный срок службы (от 2 до 4-5 недель и более). В начальный период своего развития они способны блокировать береговую ветвь главного черноморского течения в некоторых районах вдоль побережья и создавать обратимый режим прибрежных течений. В то же время часто появляется новая поперечная ветвь основного течения Черного моря, которая вдоль южной периферии антициклона уходит в открытое море, способствуя оттоку загрязняющих веществ в глубоководные районы. Транспортировка через полки в некоторых случаях становится преобладающей.

В ходе своей эволюции мезомасштабные антициклоны постепенно перемещаются на запад, увеличиваются в размерах, иногда превращаются в грибовидные и многополюсные вихревые структуры и постепенно

разрушаются. После ухода антициклона в западном направлении образовавшееся им поперечное течение, которое сохраняется в течение 1-2 недель, также сдвигается. На месте старого антициклона часто появляется новый антициклонический вихрь.

В 2015 г. многократное образование мезомасштабных антициклонов наблюдалось в период с апреля по октябрь. Таким образом, в мае-августе в отдельные периоды можно было проследить эволюцию нескольких (от 2-х до 4-х) одновременно существующих антициклонов на разных стадиях развития. В российском секторе акватории в мае-октябре неоднократно наблюдались процессы отделения антициклонических вихрей от побережья и превращения их в вихри открытого моря. Это привело к удалению прибрежных вод с низкой соленостью, примесей природного и антропогенного происхождения в глубоководный регион, увеличению неравномерного распределения температуры поверхности моря, а также фитопланктона в шельфовых и глубоководных частях моря. Вихревые образования синоптического масштаба, которые долгое время существовали в глубоководных районах, обусловили разделение морской части основного течения Черного моря на несколько ветвей, значительный отход этих ветвей от материкового склона.

Наблюдаемые в 2015 году крупномасштабные схемы циркуляции воды могли быть связаны с региональными изменениями атмосферной циркуляции.

В ходе спутникового мониторинга в 2015 году в российском секторе Черного моря можно было наблюдать мелкие (до 10-15 км) вихри, встречающиеся в основном в прибрежной зоне или вблизи границы шельфа. Как правило, меандры и вихри прибрежной зоны были результатом вихревого взаимодействия основного течения Черного моря с неоднородностями береговой линии и рельефа дна. Чаще всего такие меандры появлялись в районах м.Пицунды и Адлера, м.Кодоша, м.Грязнова, м.Идокопас, м.Утриш, м.Меганом, м.Херсонес. Прибрежные меандры были

неустойчивыми и перемещались вдоль побережья на северо-запад и запад. По мере их прохождения в прибрежной зоне наблюдался кратковременный застой, по крайней мере, юго-восточных течений. В центральной части акватории отмечалось увеличение размеров меандров, летом – до 20 – 30 км и более, некоторые из них превращались в мезомасштабные вихри, которые влияли на обмен воды в прибрежной зоне для несколько дней. В то же время в области зарождающихся поперечных шельфовых течений на южной периферии вихрей наблюдались новые мелкомасштабные вихри разных знаков размером 5 – 15 км. Мелкие циклонические вихри наблюдались в основном со стороны моря наиболее активной струйной части основного черноморского течения. Время их жизни редко превышало 2 – 3 дня, а их размер – 5 – 10 км. В этом году массовое образование мелкомасштабных циклонических вихрей наблюдалось в отдельные периоды в августе-октябре на морской границе струи прибрежного течения шириной от 5 до 15 км. Общий вклад мелких вихрей в процессы прибрежного водообмена и вентиляции соизмерим с вкладом основного черноморского течения и крупных поверхностно-активных веществ [12, с. 27].

По результатам совместного анализа спутниковых и наземных данных в ходе мониторинга в этом году был зафиксирован ряд экстремальных гидрометеорологических явлений, которые повлияли на динамику вод, распространение загрязнений и курортную ситуацию в целом.

Новороссийская бора в 2015 году наблюдалась дважды в апреле, один раз в мае-июне и сентябре, три раза в августе и пять раз в октябре. Усиление северо-восточного ветра в эти периоды было кратковременным, и максимальная скорость ветра (включая порывы ветра) достигла уровня 34 м/с (ОЯ 35 м/с и более) только 8 октября. Бор способствовал кратковременная интенсификация береговой ветви основного черноморского течения и связанный с этим перенос нагретых вод из южного сектора акватории на север. Однако в северном секторе моря увеличилась площадь вод повышенной мутности. Из-за сформировавшихся дрейфовых течений с

поверхностным слоем воды в море попало большое количество взвесей абразивного и эолового происхождения. Кроме того, произошло увеличение содержания фитопланктона, вызванное повышением глубоководья, обогащенного питательными веществами [8, с. 6].

В глубоководном районе подъем к поверхности моря глубинные холодные воды наблюдаются в северном секторе российских вод 7 – 11 августа периода воздействия штормового северо-восточного ветра в морских районах, ограниченных параллелями 44,5-45,0°с.ш. и меридианы 35,5-37,2°в.д. Поверхность моря упала до 20-21°С. С 2 по 4 октября в результате перехода с запада на восток по параллельной 44°с.ш. атмосферный циклон в глубоком море, ограниченный параллелями 43,5-44,5°с.ш. и меридианы 34,3-37,6°в.д., образованные апвеллингом со снижением температуры поверхности моря до 14-16°С. Обширная площадь воды со значениями 14-16°С сохранялась до конца 2-й декады октября.

Дождевые паводки на реках Кавказского побережья в период с апреля по октябрь 2015 года прошли 2-4.04, 7-15.04, 18-21.04, 4-7.05, 15-17.05, 28-31.05, 15-17.06, 24-28.06, 2-4.07, 9-13.07, 18.07, 27-29.07, 23-25.08, 7-9.09, 12-14.09, 1-4.10, 11-14.10, 22-28.10. Ливневые речные паводки, а также дождевой сток делают море значительным количеством взвесей и загрязняющих веществ, которые довольно длительное время (до нескольких дней) находятся в поверхностных слоях моря, ухудшая экологическую ситуацию в курортной зоне.

Такая сложная гидрологическая ситуация сложилась в третьей декаде июня, когда в результате дождевых паводков уровень воды 25 июня достиг и превысил опасные отметки на реках муниципального образования город-курорт Сочи (Чахцуцыр, Первинка, Херота, Кудепста, Кепша, Хоста, Псахе, Восточный и Западный Дагомыс, Ордынка), в ночь с 25 на 26 июня на реке Кубань. Во второй половине дня 25 июня уровень воды на реках Хоста и Западная Дагомыс превысил опасные уровни на 19 и 90 см соответственно. Наибольший ущерб был нанесен разливом рек Черноморского побережья.

Анализ и систематизация данных о загрязнении моря нефтью и нефтепродуктами, полученных с использованием изображений на основе микроволнового и оптического спектральных диапазонов, позволили выявить участки наиболее частых сбросов вод, содержащих нефтепродукты (рисунок 8).

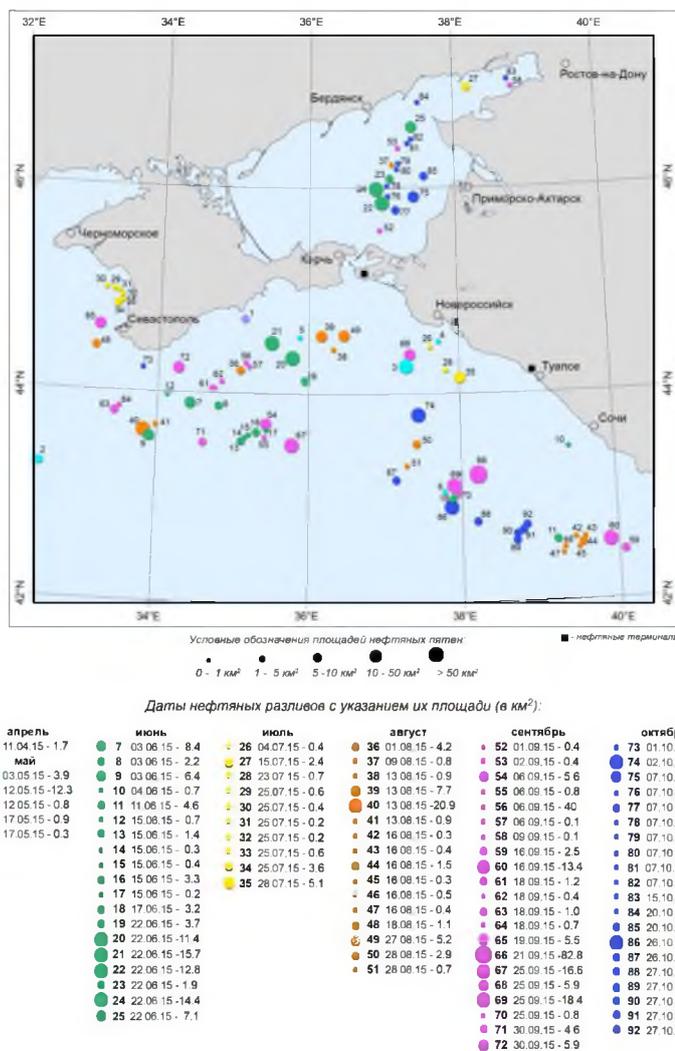


Рисунок 8 – Карта-схема нефтяных загрязнений в Азовском море и российском секторе Черного моря в апреле – октябре 2015г. [25]

3 Современные концепции дистанционного мониторинга окружающей среды

3.1 Дистанционный мониторинг как источник информации для баз геоданных

Данные дистанционного мониторинга – данные о поверхности земли, объектах, расположенных на ней или в ее глубинах, полученные в процессе съемок любым бесконтактным, то есть удаленным способом. Согласно сложившейся традиции, дистанционный мониторинг включает в себя данные, полученные с помощью наземного, воздушного или космического съемочного оборудования, которое позволяет получать изображения в одной или нескольких частях электромагнитного спектра. Характеристики такого изображения зависят от многих природных условий и технических факторов. К природным условиям относятся сезон съемки, условия освещения, удаления поверхности, атмосферы и т.д. Основные технические факторы: тип платформы, на которой установлено оборудование камеры, тип датчика, метод управления процессом стрельбы, ориентация оптической оси стрелкового аппарата, метод получения изображений [14, с. 58].

Дистанционное зондирование не является новым методом. На протяжении многих десятилетий человек поднимался над землей, чтобы наблюдать за ней с большого расстояния и, таким образом, узнавать о ней еще больше. Аэрофотосъемка широко использовалась для этой цели, и со временем появились новые виды фотографии с использованием фотографических датчиков для дистанционного зондирования.

Последние достижения в области искусственных спутников, несущих системы датчиков слежения за Землей, позволили использовать множество фотографий и других видов информации о поверхности Земли для решения таких задач, как сокращение острой нехватки продовольствия, управление и контроль загрязнения, увеличение природных ресурсов. и планирование городского роста. С точки зрения этих задач спутниковые данные имеют

большое значение при условии, что большой их объем быстро и экономично сводится к полезной информации. Современные высокоскоростные цифровые компьютеры хорошо приспособлены для решения проблем сокращения данных, и объединение таких вычислительных методов с новыми системами наблюдения уже позволило нам получать точную текущую информацию об окружающем нас мире. Результатом синтеза является количественный метод дистанционного зондирования.

Для анализа данных дистанционного зондирования наиболее удобны географические информационные системы (ГИС), позволяющие эффективно работать с пространственно-распределенной информацией (карты, планы, аэрокосмические изображения, диаграммы в сочетании с текстом, таблицами и т.д.). Этот вид данных должен иметь дело практически в любой сфере деятельности. Это может быть карта природных ресурсов, результаты экологического мониторинга территории, атлас земельного кадастра, план городских кварталов, схема проезда и т.д. ГИС позволяет быстро накапливать, интегрировать и анализировать информацию, быстро найти необходимую информацию и отобразить ее в удобной для пользователя форме, оценить геометрические характеристики объектов (длина улицы, расстояние между городами) [22, с. 26].

Большая часть данных дистанционного зондирования состоит из изображений, которые позволяют получать информацию об объекте в виде изображений в цифровом виде (данные передаются на наземную станцию по радиоканалам или записываются на борту на магнитных носителях) или аналоговыми (фотографии) формы. Цифровые данные представляют интегральное излучение области на поверхности земли, соответствующей элементу изображения – пикселю. Результаты измерений переводятся в дискретные безразмерные цифровые значения, соответствующие характеристикам отражательной способности. Цифровые значения, записанные записывающим устройством, изменяются в пределах радиометрического битового диапазона, ширина которого зависит от

характеристик датчика – обычно это интервал 0-255. На изображении эти значения соответствуют оттенкам серого: 0 представляет полностью черный объект, 255 представляет полностью белый объект, а промежуточные значения соответствуют различным оттенкам серого. Все многообразие объектов ландшафта Е.Л. Кринов делится на четыре класса, каждый из которых имеет своеобразную спектральную кривую яркости (например, класс 1 – пород и почвы, характеризующиеся увеличением спектральной яркости по мере приближения к красной области спектра). Изображения, полученные при сканировании. Фотографические изображения должны быть оцифрованы для обработки. Для этого используйте сканеры. В большинстве случаев для обработки аэрокосмических изображений используются растровые ГИС-пакеты, в которых зональные изображения рассматриваются как слои информации наряду с другими уровнями базы данных.

Удаленный мониторинг является наиболее важным источником оперативной и актуальной информации о природной среде для тематических слоев в ГИС, чтобы поддерживать данные в актуальном состоянии.

Деталь: типы орбит искусственных спутников Земли. Орбитальные параметры. Для каких целей та или иная орбита МКС даст преимущества.

Траектория искусственного спутника Земли называется его орбитой. Эллиптическая орбита, на которой вращается спутник (в точке S – спутник, а в точке G – Земля), характеризуется следующими параметрами: $a=AO$ и $b=OS$ – большие и маленькие полуоси эллипса; $e=(1-b^2/a^2)^{1/2}$ – эксцентриситет орбиты; угол HGS – угловая координата ν радиус-вектора (так называемая истинная аномалия); фокальный параметр $p=b^2/a$; $p=K^2/\gamma t^2 M$, где K – момент количества движения спутника; t – масса спутника; $m=5,976 \cdot 10^{27}$ г-массы Земли, $\gamma=6,67 \cdot 10^{-14} \text{ м}^3/\text{гс}^3$ -гравитационная постоянная. Орбитальные параметры спутника также включают орбитальный период T – время между двумя последовательными проходами одной и той же орбитальной точки.

В целом плоскость орбиты пересекается с плоскостью земного

экватора по так называемой линии узлов. Точка пересечения орбиты плоскости экватора при перемещении спутника с юга на север называется восходящим узлом орбиты, а точка пересечения, когда спутник движется с севера на юг, называется нисходящим узлом. Положение восходящего узла определяется долготой восходящего узла, то есть углом Q между восходящим узлом и весенним равноденствием, подсчитываемым против часовой стрелки, если смотреть с северного полюса. Для линии узлов укажите два угла в плоскости орбиты. Угол ω – это угловое расстояние, измеренное от восходящего узла в плоскости орбиты до перигея орбиты H , т.е. ближайшая точка к Земле орбиты спутника; ω называется аргумент перигея. Угол i между плоскостью орбиты и плоскостью экватора, называемый наклоном орбиты, отсчитывается от плоскости экватора на восточной стороне восходящего узла орбиты против часовой стрелки. По наклону различают экваториальные ($i=0^\circ$), полярные ($i=90^\circ$) и наклонные ($0^\circ < i < 90^\circ$, $90^\circ < i < 180^\circ$) орбиты.

Спутники для дистанционного зондирования Земли запускаются в основном по круговым орбитам. Такой спутник пролетает над разными частями Земли на одной высоте, что обеспечивает равенство условий съемки.

Круговая орбита, расположенная над экватором Земли (широта 0°), где искусственный спутник вращается вокруг планеты с угловой скоростью, равной угловой скорости вращения Земли вокруг оси, и постоянно находится над одной и той же точкой на поверхности Земли, называется геостационарной орбитой (ГСО). Орбита геостационарной ИСЗ круговая (эксцентриситет $e=0$), экваториальная (наклон $i=0^\circ$). Низкоорбитальные спутники ($H < 1000$ км) обычно размещаются на циркумполярных солнечно-синхронных орбитах. Эти орбиты имеют наклон относительно экватора, близкий к 90° , обеспечивают обзор всей поверхности Земли, включая полярные регионы. Вращение орбиты относительно Земли синхронизировано с вращением Земли относительно Солнца, так что угол между плоскостью орбиты и направлением на Солнце является постоянным на протяжении

времени. Это позволяет снимать примерно в один и тот же час по местному времени в течение всего года. Самое удобное время для съемки – около 12 часов по местному времени [5, с. 19 – 20].

У каждой орбиты есть свои преимущества и недостатки. Например, полярные и наклонные орбиты имеют существенный недостаток: поскольку спутник движется по этим орбитам, чтобы отслеживать местоположение спутника, необходимо обязательно отрегулировать антенну для приема спутникового сигнала, для этого требуется специальное оборудование, которое стоит много денег: их очень сложно установить и поддерживать.

Спутник, движущийся по геостационарной орбите, кажется неподвижным и как будто он постоянно находится в одной точке. Это очень удобно для ретрансляции сигналов, так как нет необходимости регулировать положение отражателей антенны, направляя их на выходящий спутник. Геостационарная орбита используется большинством коммерческих спутников, и преимуществами этой орбиты являются возможность непрерывной круглосуточной связи в глобальной зоне обслуживания и практически полное отсутствие сдвига частоты. Экваториальная орбита (или геостационарная орбита) в дополнение к положительным и отрицательным характеристикам: невозможно передавать сигнал в полярные регионы Земли, так как угол местности очень мал; из-за того, что несколько спутников на одной орбите могут находиться на небольшом расстоянии друг от друга, наблюдается избыток геостационарной орбиты. Большая высота геостационарной орбиты также является недостатком, поскольку для вывода спутника на орбиту требуется много средств. Как отмечалось ранее, спутник на геостационарной орбите не может обслуживать земные станции в приполярном регионе. Наклонная орбита решает эти проблемы, однако из-за перемещения спутника относительно наземного наблюдателя необходимо запустить как минимум три спутника на одну орбиту, чтобы обеспечить круглосуточный доступ к связи [17, с. 23].

Спутниковое телевидение – это новый и качественный формат

высокоскоростной передачи данных с помощью специального оборудования, к которому подключен обычный телевизор. Вся информация, как визуальная (видео), так и аудио, синхронно передается от передающего центра к потребителю через искусственный спутник Земли, расположенный на геостационарной орбите, от радиовещательной станции до космического спутника. Благодаря этому вся информация равномерно распределяется между получателями абонентов.

Цифровой стандарт используется для передачи сигнала, что позволяет умножить количество вещательных каналов и избавиться от помех. Для ретрансляции спутниковых телевизионных передач в основном используются два типа спутников: спутники, вращающиеся по вытянутым эллиптическим орбитам, и спутники, размещенные на геостационарной орбите. Использование ИСЗ, расположенной на геостационарной орбите, устраняет необходимость постоянного наведения приемной антенны на спутник. Благодаря постоянному расстоянию до спутника уровень входного сигнала стабилизируется [18, с. 28].

Связь может осуществляться круглосуточно и без перерывов, необходимых для перехода с одной ИСЗ на другую (в 1965 году в СССР для этих целей использовались три спутника, движущихся по эллиптической орбите). Наконец, питание оборудования облегчается, поскольку спутник почти постоянно освещается солнцем. К недостаткам геостационарной орбиты относятся плохое обслуживание циркумполярных областей Земли и необходимость размещения космодрома на экваторе, в противном случае для запуска спутника на такую орбиту требуется значительное увеличение мощности ракеты-носителя. Тем не менее эти недостатки компенсируются простотой и дешевизной большого количества земных станций. Но самое главное – это возможность прямого приема телепередач зрителями с геостационарного спутника без промежуточного наземного ретранслятора.

Многие спутники расположены на наклонных или полярных орбитах. В то же время требуемая мощность передатчика не так высока, а стоимость

вывода спутника на орбиту ниже. Однако этот подход требует не только большого количества спутников, но и обширной сети наземных коммутаторов. Аналогичный метод используется операторами Iridium и Globalstar. Операторы сотовой связи конкурируют с операторами персональных спутников.

Основным недостатком экваториальных орбит является задержка сигнала. Спутники на экваториальных орбитах оптимальны для систем радио- и телевизионного вещания, где задержки в 250 мс (в каждом направлении) не влияют на качество сигналов. Радиотелефонные системы более чувствительны к задержкам, и поскольку общая задержка в системах этого класса составляет около 600 мс (с учетом времени обработки и коммутации в наземных сетях), даже современная технология эхоподавления не всегда обеспечивает высокое качество связи. В случае «двойного перехода» (повторная передача через наземную станцию-шлюз) задержка становится неприемлемой для более чем 20% пользователей [3, с. 15].

В соответствии с высотой орбиты спутниковые системы связи подразделяются на: низкоорбитальные – (700 – 1500) км, среднеорбитальные – (5 000 – 15 000) км, высшие орбиты – от 15 000 и выше, Низкая орбита используется для телефонной двусторонней связи, так как это самая низкая задержка сигнала (без эффекта реверберации). Кроме того, низкоорбитальные используются для оптической разведки и связи с объектами малой энергоемкости, например, с аварийными буями.

Средние орбиты используются в основном для систем вещания и телевидения или для двусторонней факсимильной связи, ТЛГ, пейджинга и обмена данными. Также для телеметрических систем слежения за автомобилями, поездами с передачей телеметрической информации от них. То есть в тех системах, где задержка сигнала существенно не влияет на качество каналов связи.

Высокоорбитальный, чаще всего используется для передачи телевизионных и радиопрограмм. Кроме того, эти системы связи

используются для односторонних систем ТЛГ, ФАКС, пейджинга и обмена данными.

Спутник «Ресурс-01» также имеет два сканера МСУ-Э с линейным сканированием, содержащих 3 линейки на ПЗС по 1000 пикселей (по одной на каждый из 3 спектральных каналов). Разрешение 35x45 м, скорость сканирования 200 строк/с; полоса зрения каждого сканера составляет 45 км; если оба сканера включены, полоса обзора составляет 80 км, так как полоса обзора перекрывается. Над той же точкой поверхности спутник летает один раз каждые 14 дней. Для повышения регулярности приема предусмотрено отклонение оси сканера на $\pm 30^\circ$ от надира в направлении, перпендикулярном направлению спуска спутника. Это позволяет смешивать полосу просмотра на ± 400 км. Спектральные каналы сканера: 0,5-0,59; 0,61-0,69; 0,7-0,89 мкм. Вес устройства составляет 23 кг. Результаты измерений передаются по радиоканалу на частоте около 8 ГГц со скоростью 7,68 Мбит/с, мощность бортового передатчика составляет 10 Вт.

Долгосрочной целью этого проекта является инвентаризация не возобновляемых и медленно возобновляемых ресурсов, таких как минералы и ископаемое топливо, запасы воды, сельскохозяйственный и атмосферный мониторинг. Программа сосредоточена на способности выявлять, прогнозировать и, в некоторых случаях, отслеживать определенные процессы, связанные с океанографией, климатологией, эрозией почвы и загрязнением воды, а также отслеживать потенциально опасные природные явления, такие как наводнения, засухи, штормы, землетрясения и извержения вулканов.

Высота орбиты 667 км, период обращения 97,98 мин, угол наклона орбиты $98,03^\circ$. Спутник оборудован двумя некогерентными РЛС ВО, антенны которых направлены соответственно влево и вправо от направления движения спутника. Поле зрения каждого радара составляет 455 км, угол падения излучаемых электромагнитных волн на подстилающую поверхность составляет $20,48^\circ$. Пространственное разрешение в среднем составляет 1,3 км

по направлению движения спутника и 2,5 км по нему.

Они постоянно транслируют цифровые изображения с очень низким разрешением (несколько километров) всего полушария. Это геостационарные спутники Meteosat (Европейское космическое агентство), GMT (Япония), GOES (США), INSAT (Индия).

Большинство спутников дистанционного зондирования в настоящее время летают по полярным орбитам. Это означает, что спутник летит на север с одной стороны Земли, летит около полюса, а затем летит на юг на второй половине орбиты. Полярные орбиты значительно ниже геостационарных. Приборы, размещенные на полярных орбитах, обеспечивают лучшее пространственное разрешение и позволяют получать высококачественные данные дистанционного зондирования [20, с. 46].

Полярные орбиты в основном используются для запуска на них военных (разведывательных) и гражданских (научных, сельскохозяйственных) спутников, поскольку космические аппараты на таких орбитах выполняют работу по дистанционному зондированию Земли и предназначены для получения информации о планете и внесолнечном атмосферном слое. Такие спутники дистанционного зондирования из космоса используются для изучения и управления природными ресурсами Земли, изучения динамики природных процессов и явлений, сбора информации о состоянии территорий на поверхности планеты и других задач.

3.2 Преимущества и недостатки спутниковых систем дистанционного мониторинга

Регулярное обследование территорий позволяет проводить мониторинг водных ресурсов, агротехнического состояния сельскохозяйственных культур, эрозии почв, развития городской инфраструктуры и других процессов, объектов и явлений, которые изменяются под воздействием природных и антропогенных факторов. С помощью космической съемки

довольно просто получить данные о труднодоступных местах.

Еще одним преимуществом удаленного мониторинга является возможность получения изображений различного разрешения, что позволяет использовать данные дистанционного зондирования для решения различных задач в разных предметных областях. Поскольку анализ материалов удаленного мониторинга проводится на месте, требуется меньше полевых исследований, что окупает стоимость сбора данных.

В современных условиях следующие характеристики определяют потребность в космических изображениях (КС): Объективность – каждая КС – это документ, который объективно отражает состояние местности на момент съемки. Материалы для обследования релевантности могут быть получены в различные сроки, в том числе по индивидуальным заказам, которые обычно проводятся в течение нескольких недель. Масштабные современные устройства дистанционного зондирования позволяют одновременно убирать значительную площадь территории с достаточно высокой степенью детализации. Экстерриториальность – зоны стрельбы никак не связаны с государственными и территориальными границами, и разрешение на стрельбу не требуется. Доступность – в настоящее время данные дистанционного зондирования с пространственным разрешением 2 м или менее открыты и доступны. Данные дистанционного зондирования, особенно с космических спутников, часто не могут быть получены каким-либо иным способом [10, с. 5].

Помимо преимуществ данных дистанционного зондирования, есть и недостатки: их обработка и анализ требуют очень высокой квалификации и большого практического опыта.

Основной проблемой спутниковых систем является их высокая стоимость, они требуют больших вложений одновременно. Также на данный момент наблюдается недостаточная точность изображений. Но, несмотря на недостатки этого метода, получение информации о Земле является наиболее перспективным.

Вышеуказанные недостатки являются одноразовыми и незначительными на фоне возможностей, предоставляемых аэрокосмическими технологиями. Это возможность в течение длительного времени наблюдать за обширными территориями, получая динамичную картину, учитывая влияние различных факторов на территорию и их взаимосвязь друг с другом. Это открывает возможность систематического изучения Земли и ее отдельных областей.

Заключение

В данной выпускной квалификационной работе был проведен анализ использования дистанционного зондирования в мониторинге окружающей среды.

Использование дистанционного зондирования позволяет получать актуальную, полную и достоверную информацию о состоянии природной среды и хозяйственной деятельности на любой удаленной территории.

Фактические области применения космических и авиационных систем наблюдения в мониторинге являются:

- контроль за восстановлением нарушенных природных ландшафтов в результате их промышленного использования;
- изменение территорий, занимаемых городами, поселками, промзонами, их состояние;
- экологический мониторинг, выявление зон экологических нарушений (загрязнение почвы, атмосферы, водоемов);
- мониторинг отдельных объектов городской инфраструктуры (дорог, мостов, промышленных объектов);
- выявление объектов утилизации отходов производства и потребления;
- градостроительство, строительство, транспорт, ЖКХ;
- кадастровые работы.

Проанализировав состав проблемы дистанционного зондирования объектов населенных пунктов, можно выделить следующие основные области применения информации дистанционного зондирования и кратко сформулировать их особенности:

- экологический мониторинг распространения загрязнения во всех трех основных природных зонах (атмосфера, поверхность земли, водная среда), развитие эрозии и других процессов деградации природной среды; выявление факта и целенаправленная локализация крупных промышленных

и других источников загрязнения окружающей среды; мониторинг крупнейших кластеров промышленных предприятий;

- мониторинг чрезвычайных ситуаций, включая оценку степени и характера разрушений; прогнозирование землетрясений и других разрушительных природных явлений; предупреждение о цунами, наводнениях, оползнях, химическом и другом загрязнении территории, лесных пожарах, крупных разливах нефти и т.д.;

- создание и обновление широкого спектра общегеографических и тематических картографических материалов (топографические карты, карты в цифровом виде, ГИС различного назначения);

- информационная поддержка мероприятий по землеустройству, прокладке автомобильных дорог, строительству промышленных объектов и градостроительству, подготовке инвентаризаций.

В ходе исследования выявлено, что информация удаленного мониторинга, полученная в интересах решения вышеуказанных задач, должна отвечать ряду требований к ее параметрам, основными из которых являются следующие:

- пространственное разрешение (то есть разрешение),
- радиометрическое разрешение (характеризует количество градаций яркости на спутниковых изображениях или чувствительность устройств дистанционного зондирования),
- количество спектральных каналов или спектральное разрешение,
- частота просмотра (перерывы между повторениями наблюдений на одних и тех же участках),
- область захвата полос.

Результаты, полученные в ходе выполнения работы, позволяют сформулировать следующие основные выводы.

1. На основе спутникового мониторинга российского сектора Черного и Азовского морей, проведенного в апреле-октябре 2015 года, выявлены основные признаки загрязнения морской среды, в том числе содержание

взвесей, обводнение, наличие пленок нефтепродуктов и органических веществ биогенного происхождения, не выявлено. Оценка влияния динамических структур в прибрежной зоне моря на пространственно-временное распределение основных параметров загрязнения морской среды, а также их вклад в механизмы очистки и самоочищения вод.

2. Ежегодный спутниковый мониторинг обеспечивает накопление гидрологических и метеорологических данных, необходимых для выяснения и детализации типичных ситуаций динамики воды, которые определяют характеристики притока и перераспределения загрязнений в прибрежных зонах Азовского и Черного морей. Мониторинг текущего года позволил получить новые данные об элементах циркуляции воды, ответственных за перенос загрязнений и влияющих на процессы самоочищения воды. Выявленные закономерности распределения загрязнения способствуют получению более достоверных оценок существующей экологической ситуации, в том числе прогнозированию динамики распространения загрязнения на основе знания ключевых факторов, их определяющих.

3. Спутниковый мониторинг в 2015 году подтвердил, что специфика внутримассового загрязнения вод прибрежной зоны Черного моря во многом зависит от воздействия на морскую среду гидрометеорологических процессов, характеризующихся широким разнообразием форм, масштабов и времени существования. Чтобы понять эту специфику, необходимо постоянно отслеживать все эти воздействия на морскую среду, что возможно только посредством регулярных спутниковых наблюдений.

4. В дополнение к спутниковому мониторингу гидрометеорологическая ситуация была проанализирована с использованием данных из сети прибрежных метеорологических станций и гидрологических постов на реках. Сравнение наземных данных с данными дистанционного зондирования из космоса позволяет проверять последние, а также своевременно выявлять опасные погодные явления, влияющие на экологическую ситуацию в прибрежной зоне.

5. Учитывая значимость и важность полученных результатов, а также принимая во внимание зарубежный опыт приоритетного развития спутниковых наблюдений за загрязнением морской среды, работа по спутниковому мониторингу российского сектора Черного и Азовского морей требует дальнейшего продолжения.

Список использованной литературы

1. Аксютин, О.Е. Экологическая безопасность строительства и эксплуатации подземных хранилищ газонефтепродуктов в отложениях каменной соли / О.Е. Аксютин, В.А. Казарян, А.Г. Ишков и др. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2010. – 420 с.
2. Алиев, Р.А. Основы общей экологии и международной экологической политики: учеб. пособие / Р.А. Алиев, А.А. Авроменко и др. – М.: Аспект–Пресс, 2014. – 381с.
3. Андросова, Н.К. Экология. Основы геоэкологии: учеб. для бакалавров / А.Г. Милютин, Н.К. Андросова, И.С. Калинин. – М.: Юрайт, 2013 – 542 с.
4. Астахов, А.С. Экологическая безопасность и эффективность природопользования / А.С. Астахов, Е.Я. Диколенко, В.А. Харченко. – Вологда: Инфра–Инженерия, 2009. – 323 с.
5. Бадагуев, Б.Т. Экологическая безопасность предприятия: Приказы, акты, инструкции, журналы, положения, планы / Б.Т. Бадагуев. – М.: Альфа–Пресс, 2012. – 568 с.
6. Бадагуев, Б.Т. Экологическая безопасность предприятия. Приказы, акты, инструкции, журналы, положения, планы. 2-е изд., пер. и доп. / Б.Т. Бадагуев. – М.: Альфа–Пресс, 2012. – 568 с.
7. Буркинский, Б.В. Экономико–экологическая безопасность морехозяйственной деятельности / Б.В. Буркинский. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 648 с..
8. Ветошкин, А.Г. Основы процессов инженерной экологии. Теория, примеры, задачи: учеб. пособие / А.Г. Ветошкин. – СПб.: Лань, 2014. – 512 с.
9. Волкова, П.А. Основы общей экологии: учеб. пособие / П.А. Волкова. – М.: Форум, 2012. – 128 с.
10. Гутенев, В.В. Основы инженерной экологии: учеб. пособие / В.В. Денисов, И.А. Денисова, В.В. Гутенев. – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – 623 с.

11. Графкина, М.В. Экология и экологическая безопасность автомобиля: учеб. / М.В. Графкина, В.А. Михайлов, К.С. Иванов. – М.: Форум, 2011. – 328 с.
12. Захваткин, Ю.А. Основы общей и сельскохозяйственной экологии: Методология, традиции, перспективы / Ю.А. Захваткин. – М.: КД Либроком, 2013. – 352 с.
13. Калыгин, В.Г. Экологическая безопасность в техносфере. Термины и определения / В.Г. Калыгин. – М.: КолосС, 2008. – 368 с.
14. Калыгин, В.Н. Безопасность жизнедеятельности. Промышленная и экологическая безопасность в техногенных чрезвычайных ситуациях / В.Н. Калыгин, В.А. Бондарь, Р.Я. Дедеян. – М.: КолосС, 2008. – 520 с.
15. Коростелева, Л.А. Основы экологии микроорганизмов / Л.А. Коростелева, А.Г. Кошаев. – СПб.: Лань, 2013. – 240 с.
16. Кривошеин, Д.А., Кукин П.П., Лапин В.Л. и др. Инженерная защита поверхностных вод от промышленных стоков: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2008. – 344 с.
17. Кривенко, В.П. Биологические основы экологии: учеб. пособие / В.П. Кривенко. – СПб.: ГУАП, 2012. – 144 с.
18. Кульский, Л.А., Гороновский И.Т., Когановский А.М., Шевченко М.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды. Киев.: Наукова думка, 1980. - 680 с.
19. Маслов, Н.В. Градостроительная экология: учеб. пособие для строит. вузов / Н. В. Маслов. – М.: Высшая школа, 2003. – 285 с.
20. Радько, Т.Н. Основы геоэкологии / Т.Н. Радько. – М.: КноРус, 2013. – 352 с.
21. Саркисов, О.Р. Экологическая безопасность и эколого–правовые проблемы в области загрязнения окружающей среды: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Юриспруденция» / О.Р. Саркисов. – М.: ЮНИТИ–ДАНА, 2013. – 231 с.
22. Саркисов, О.Р. Экологическая безопасность и эколого–правовые

проблемы в области загрязнения окружающей среды: учеб. пособие. Гриф УМЦ «Профессиональный учебник». Гриф НИИ образования и науки. / О.Р. Саркисов, Е.Л. Любарский, С.Я. Каз. – М.: ЮНИТИ, 2013. – 231 с.

23. Стойков, В.Ф. Экологическая безопасность в строительной деятельности: организация, управление: учеб. пособие / В.Ф. Стойков, И.М. Потравный. – М.: Экономика, 2011 – 335 с.

24. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Кавказское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».[Электронный ресурс]. URL: <http://www.yugmeteo.donpac.ru> – (дата обращения: 18.11.2019).

25. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета» [Электронный ресурс]. URL: https://planet.iitp.ru/Prik_pr/BlackSea/black.htm– (дата обращения: 18.11.2019)

26. Шакуров, М.Ш. Основы процессов инженерной экологии. Теория, примеры, задачи: учеб. пособие / М.Ш. Шакуров. – СПб.: Лань, 2014. – 512 с.

27. Шарп, С. Основы экологии микроорганизмов: учеб. пособие / С. Шарп. – СПб.: Лань, 2013. – 240 с.