На правах рукописи

Затягалова Виктория Владимировна

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МОРСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Специальность 25.00.35 – геоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва - 2012

Работа выполнена на кафедре Вычислительной техники и автоматизированной обработки аэрокосмической информации в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный университет геодезии и картографии».

Научный руководитель: кандидат технических наук,
Гречищев Александр Владимирович

Официальные оппоненты: Цветков Виктор Яковлевич
доктор технических наук, профессор,
Московский государственный университет геодезии и картографии, профессор кафедры экономики и предпринимательства;

Пяткин Валерий Павлович
доктор технических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского Отделения РАН (ИВМиМГ СО РАН),
заведующий лабораторией обработки изображений.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН)

Защита состоится «18» декабря 2012 года в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.143.03 в Московском государственном университете геодезии и картографии по адресу: 105064, Москва, Гороховский пер., 4, МИИГАиК, зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИГАиК.

Автореферат разослан «15» декабря 2012 года.

Ученый секретарь диссертационного совета Климков Ю.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Активизация хозяйственной деятельности, связанной с разработкой и введением в эксплуатацию новых месторождений на шельфе, строительством объектов их обустройства (нефтяных платформ, нефтехранилищ, подводных нефтепроводов и других объектов нефтегазового комплекса), увеличением интенсивности транспортировки нефти ведет к ухудшению экологической обстановки в морских акваториях и возникновению рисков аварийных разливов нефти.

Повышенный уровень загрязнения морской среды определяется как антропогенными загрязнениями – авариями на буровых платформах и подводных нефтепроводах, технологическими сбросами нефтепродуктов с судов, береговым и речным стоком, так и природными – естественными выходами углеводорода из глубинных недр.

Многочисленность и неравномерная распределенность потенциальных источников нефтяных загрязнений на обширных морских акваториях требуют применения эффективных средств экологического мониторинга. К таким средствам относятся спутниковые радиолокационные данные, которые позволяют выявлять нефтяные загрязнения морской поверхности независимо от облачности и освещенности. Однако существует ряд проблем, связанных с идентификацией нефтяных загрязнений на спутниковых радиолокационных изображениях (РЛИ):

- распознавание нефтяных пленок на фоне других сликообразующих явлений (проявления атмосферных и гидродинамических процессов на поверхности моря и т.д.);
- определение принадлежности нефтяных пленок к различным типам загрязнения и их источникам.

Для решения этих проблем требуется создание эффективной методики и технологий комплексной обработки спутниковых радиолокационных данных и других видов информации в единой геоинформационной системе (ГИС), а именно:

- методики дешифрирования на РЛИ нефтяных пленок на морской поверхности от различных источников загрязнения;
- технологии комплексного анализа спутниковых РЛИ, данных береговой системы автоматической идентификации судов (АИС) и другой информации, необходимой для определения судов, причастных к разливу нефтепродуктов в акватории порта.
- технологии комплексного анализа спутниковых РЛИ и других видов информации, полученных на разных горизонтах геологической и морской сред для изучения естественных выходов углеводорода из глубинных недр на морскую поверхность;
- технологии оперативного представления результатов экологического мониторинга морских акваторий посредством WEB-картографического сервиса.

Цель диссертации состоит в разработке и апробации комплексного метода геоинформационного анализа спутниковых РЛИ для экологического мониторинга морской поверхности и выявления нефтяных пленок от различных источников загрязнений.

Поставленная цель достигается путем решения следующих основных ***задач***:

1. Создание методики геоинформационного анализа спутниковых РЛИ и дополнительной информации о районе исследования для идентификации различных типов нефтяного загрязнения на морской поверхности и их отличия от других сликообразующих явлений с использованием классификационных признаков нефтепроявлений на РЛИ;
2. Создание опытной технологии комплексного анализа в ГИС спутниковых РЛИ, данных береговой системы АИС, гидрометеорологической и другой информации для идентификации судов, причастных к разливу нефтепродуктов в акватории порта, а также доведение информации о фактах загрязнения морской среды до соответствующих служб порта с использованием WEB-картографических сервисов.
3. Экспериментальное использование созданной технологии для решения задачи идентификации судов, совершивших несанкционированный сброс нефтепродуктов в зоне действия береговой системы АИС;
4. Проведение комплексного анализа в среде ГИС сейсмической, гидроакустической, глубоководной телевизионной и спутниковой радиолокационной информации, полученной на различных горизонтах геологической и морской сред, для изучения естественных источников выхода углеводорода:

   - установления факта активности подводных геологических объектов в глубоководных и мелководных морских районах;

   - объяснения механизма доставки нефти из глубинных недр на морскую поверхность и конфигураций нефтепроявлений на РЛИ.

Использованные данные. В работе использовались РЛИ ИСЗ ENVISAT, полученные в рамках «Космического мониторинга российского сектора Черного и Азовского морей», проводимого ФГБУ «НИЦ «Планета»; РЛИ ИСЗ ENVISAT и RADARSAT-1, полученные при реализации пилотного проекта: «Обнаружения нефтяных загрязнений с судов в Азово-Черноморской зоне ответственности Российской Федерации», проводимого ИТЦ «СКАНЭКС» и ФГУ «АМП Новороссийск» (результаты опубликованы в «Информационном бюллетене «ГИС Ассоциации». – 2008. – № 19. – С. 52–53); а также РЛИ ИСЗ ENVISAT высокого разрешения, предоставленные ИКИ РАН (проект С1Р.5004). Кроме того, использовались данные береговой АИС (разработка компании ЗАО «Транзас»),

береговые, судовые и видео наблюдения, предоставленные ФГУ «АМП Новороссийск». Также использовались открытые и опубликованные материалы геолого-геофизических исследований экспедиций METRO, TTR-15, MSM 15/2.

Научная новизна. Разработана методика геоинформационного анализа спутниковых радиолокационных изображений для выявления нефтяных пленок на морской поверхности, включающая:

- инкрементальное моделирование процессов идентификации нефтяных пленок от разных источников загрязнения на фоне других сликообразующих явлений;

- использование, сформулированных в настоящей методике, классификационных признаков нефтепроявлений для распознавания различных типов загрязнений (аварийных, судовых, береговых, речных и естественных) на радиолокационных изображениях морской поверхности.

Комбинирование спутниковой радиолокационной и другой дополнительной информации, интегрированной в ГИС, с применением указанных классификационных признаков подчеркивает эффективность разработанной методики и принципиально отличает ее от существующих.

Разработана опытная технология комплексного анализа в ГИС спутниковых РЛИ, данных береговой системы АИС, гидрометеорологической и другой информации, направленная на обнаружение нефтяных разливов на морской поверхности и идентификацию судов, совершивших эти разливы нефтепродуктов в акватории морского порта. Настоящая технология, в отличие от зарубежных аналогов, позволяет в зоне действия береговых АИС идентифицировать суда, причастные к несанкционированному сбросу нефтепродуктов, без привлечения авиационных средств наблюдения.

Выполнен комплексный анализ в ГИС сейсмической, гидроакустической, спутниковой радиолокационной информации и данных подводной телевизионной съемки на различных горизонтах природных сред с использованием материалов описания геолого-тектонической характеристики района, позволяющий объяснить особенности нефтепроявлений на морской поверхности от естественных источников. Комбинирование перечисленных видов информации применительно к решению данной задачи используется впервые.

Практическая ценность. Разработанные методика и технология использовались при реализации проектов:

- «Обнаружение нефтяных загрязнений с судов в Азово-Черноморской зоне ответственности Российской Федерации», выполненного в 2008-2009 гг. в рамках «Соглашения о научно-техническом сотрудничестве между ИТЦ «СКАНЭКС» и ФГУ «АМП Новороссийск» № 269 от 08.09.2008 г.

- «Космический мониторинг российского сектора Черного и Азовского морей», который с 2003 г. осуществляется ФГБУ «НИЦ «Планета» в соответствии с поручением Правительства Российской Федерации № МК-П9-01617 от 10.02.2003г.

Разработанная технология комплексного анализа в ГИС спутниковых РЛИ, данных береговой АИС и другой информации с применением WEB-картографического сервиса экспериментально использовалась при совместной работе ИТЦ «СКАНЭКС» и ФГУ «АМП Новороссийск» в период 2008-2009 гг., а также при совместной работе ФГБУ «НИЦ «Планета» и ФГУ «АМП «Новороссийск» в 2011 г., в результате чего впервые в территориальных водах Российской Федерации были установлены 13 судов, причастных к разливам нефтепродуктов; из них 4 судна были задержаны службами порта, 8 судов записаны в список подозреваемых и установлено 1 нелегальное судно. По результатам этих работ имеется акт внедрения.

Результаты практического применения данной технологии использовались при подготовке предложений Росгидромета об установке на перспективных российских спутниках серии «Метеор-МП», наряду с радиолокационной аппаратурой высокого разрешения, отечественной системы АИС.

Результаты диссертационной работы могут быть также использованы на различных этапах строительства нефтяных платформ и нефтехранилищ на морском шельфе, береговых нефтяных терминалов, подводных нефтепроводов и т.д.

Защищаемые результаты диссертационной работы:

- Методика геоинформационного анализа спутниковых РЛИ и дополнительной информации о районе исследования для выявления нефтяных загрязнений на морской поверхности с использованием инкрементального моделирования процессов идентификации нефтяных пленок на фоне других сликообразующих явлений и классификационных признаков для распознавания различных типов нефтяных загрязнений;
- Опытная технология комплексного анализа в ГИС спутниковых РЛИ, данных береговой системы АИС, гидрометеорологической и другой информации, нацеленная на идентификацию судов, совершивших разлив нефтепродуктов в зоне действия береговой системы АИС (в акватории порта и на подходах к нему).
- Результаты экспериментов по идентификации судов, причастных к несанкционированному сбросу нефтепродуктов в зоне действия системы АИС порта Новороссийск в 2008-2009 гг. и 2011 г.
- Результаты комплексного анализа информации на разных горизонтах природных сред (сейсмической, гидроакустической, глубоководной телевизионной и спутниковой радиолокационной) при изучении естественных выходов углеводорода из горы Печори и сипа Колхети на морскую поверхность в восточной

части Черного моря.

Достоверность полученных результатов и выводов подтверждается результатами апробации созданной методики на реальных данных. Достоверность судовых разливов нефтепродуктов, выявленных на спутниковых РЛИ, подтверждается другими видами береговых, судовых наблюдений. Принадлежность нефтяных разливов, выявленных на РЛИ во время проведения экспериментов, к конкретным судам были подтверждены результатами оценки судовой обстановки береговой системы АИС и при последующем инспектировании судов службами порта Новороссийск. Достоверность интерпретации естественных выходов углеводорода на РЛИ подтверждается данными геолого-геофизических исследований.

Апробация работы. Результаты исследований докладывались и обсуждались на 30 международных и российских конференциях (с 2006 г.), из которых наиболее значимыми являются: European Conference on Synthetic Aperture Radar «EUSAR» (Дрезден, Германия, 2006, 2008 гг.); International Symposium on Remote Sensing 2006 Pan Ocean Remote Sensing Conference «ISRS 2006 PORSEC» (Пусан, Корея, 2006 г.), «PORSEC 2008» (Гунчжоу, Китай, 2008 г.); «Envisat Symposium-2007» (Монтрё, Швейцария, 2007); Межд. конф. RAO/CIS Offshore (Санкт-Петербург, 2007, 2009 гг.); V, IX Всероссийская конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (ИКИ РАН, Москва, 2007, 2011 гг.); «SEASAR» workshop (Фраскати, Италия, 2008, 2011 гг.); International conference «Oil and GAS of Arctic Shelf 2008» (Мурманск, 2008 г.); Межд. научно-техническая конф., посвященная 230-летию основания МИИГАиК (МИИГАиК, 2009 г.); Межд. научно-техническая конф. «Аэрокосмические технологии в нефтегазовом комплексе» 2009 г.; Межд. конф. «Земля из космоса – наиболее эффективные решения» (Москва, 2007, 2009 гг.); Всероссийская научно-техническая конференция «Геоинформатика в нефтегазовой отрасли» (ВНИИГАЗ, Москва, 2007, 2010 гг.); 8-ая межд. конференция «Геленджик - 2011: Актуальные проблемы развития ТЭК регионов России и пути их решения» (Южморгеология, Геледжик, 2011 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 36 печатных работ: из них 16 статей в рецензируемых журналах, в том числе 8 в журналах из списка ВАК, 8 статей в трудах зарубежных конференций и зарубежных рецензируемых журналах, 20 статей в трудах российских международных конференций и научно-популярных журналах.

Личный вклад. Постановка рассматриваемых в работе задач и основные научные и практические результаты принадлежат лично автору. Из работ, в которых он участвовал в качестве соавтора, в диссертацию вошли только те результаты, в получении которых автор принимал непосредственное участие на всех этапах работы.

Автором разработана методика геоинформационного анализа спутниковых РЛИ

для выявления нефтяных загрязнений на морской поверхности с использованием инкрементального моделирования процессов идентификации нефтяных пленок на фоне других сликообразующих явлений, а также классификационных признаков нефтепроявлений на РЛИ для определения различных типов загрязнения.

При создании опытной технологии для решения задачи идентификации судов, совершивших разлив нефтепродуктов в акватории порта «Новороссийск», автором предложено осуществлять комплексный анализ в среде ГИС спутниковых РЛИ, данных АИС, гидрометеорологической и другой информации, а также использовать WEB-картографические сервисы для оперативного информирования администрации морского порта Новороссийск о фактах загрязнения морской среды.

При изучении по спутниковым данным нефтепроявлений на морской поверхности от естественных выходов углеводорода автором предложено осуществлять комплексный анализ в среде ГИС информации по различным горизонтам морской и геологической сред (сейсмической, гидроакустической, подводной телевизионной и спутниковой радиолокационной информации).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Общий объем работы составляет 177 страниц, включая 71 рисунок и 8 таблиц, список литературы включает 176 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована проблема идентификации нефтяных пленок на морской поверхности, показана ее актуальность, определены цели и задачи исследования, показана научная новизна и практическая ценность диссертационной работы, кратко излагается содержание работы.

Первая глава диссертации посвящена обзору современного состояния вопросов, связанных с разработкой методик и технологий спутникового мониторинга нефтяных загрязнений на морской поверхности. Определены три группы проблемных вопросов.

Первая группа вопросов связана с многочисленностью типов загрязнения морской среды, среди которых различаются: аварийные разливы (утечки с буровых платформ, при крушении танкеров и т.д.), судовые разливы (балластные, трюмные воды и т.д.), выносы с береговым стоком (промышленные и канализационные стоки, и т.д.), выносы речного стока (сток загрязненных вод со всего водосборного бассейна), естественные источники (выходы углеводорода из глубинных недр).

Вторая группа вопросов связана с условиями существования нефтяных загрязнений на морской поверхности. Нефтяные пленки на морской поверхности обнаруживаются на спутниковых РЛИ за счет эффекта сглаживания пленками высокочастотной составляющей морского волнения. Интенсивность радиолокационного обратного рассеяния нефтяной пленки существенно ниже

незагрязненной морской поверхности, поэтому на РЛИ нефтяные пленки будут выглядеть в виде «темных пятен» на светлом фоне. Существование нефти в виде сплошной пленки составляет от 0,5-2 суток и зависит как от объема вылитой нефти, так и от состояния морской поверхности. На РЛИ нефтяные пленки обнаруживаются на взволнованной поверхности моря при скоростях приводного ветра от 2-3 до 9-12 м/с; при меньших скоростях ветра они становятся неразличимы на фоне гладкой морской поверхности, при больших разрушаются, превращаясь в эмульсию.

Третья группа вопросов связана с выбором параметров спутниковой радиолокационной съемки. Для идентификации нефтяной пленки на морской поверхности требуются следующие параметры спутниковых систем: С и Х - диапазоны длин волн; вертикальная поляризация (но может использоваться и горизонтальная); от 20° до 45° угол зондирования радиолокационного сигнала; высокая частота наблюдения, которая обеспечивается за счет привлечения нескольких радиолокационных спутников и изменения луча зондирования; выбор режимов съемки в соответствии с поставленными задачами (для наблюдения значительных областей используется узкообзорный режим съемки, для наблюдения за стационарными объектами – детальный).

Один из проблемных вопросов тематической обработки спутниковых РЛИ заключается в распознавании нефтяных загрязнений на фоне других сликообразующих явлений, которые отражают результаты воздействия на морскую поверхность атмосферных, гидродинамических, биологических и других процессов (области локального ослабления ветра, апвеллинг, начальные формы льда и др.).

В этой главе также рассматриваются технологии спутникового радиолокационного мониторинга, которые реализованы в составе национальных систем оперативного реагирования в некоторых развитых странах мира (в Норвегии, США и Канаде и др.). Мировой опыт показывает, что обнаруженный в ходе спутникового мониторинга разлив нефтепродуктов является сигнальной информацией, а подтверждение факта разлива и выявление виновника осуществляется на основании авиационных, судовых или береговых наблюдений. В России мониторинг нефтяных загрязнений в основном проводится с использованием спутниковых радиолокационных данных без подтверждения факта загрязнения авиационными или судовыми наблюдениями.

Вторая глава посвящена методике геоинформационного анализа спутниковых РЛИ и других видов спутниковой, наземной и картографической информации с использованием классификационных признаков для выявления нефтяных пленок на морской поверхности от различных источников загрязнения и их отличия от других сликообразующих явлений. В основе методики лежит геоинформационный метод, который включает: три группы геоданных («тема», «место», «время») исходной

спутниковой РЛИ и другой дополнительной информации, их стратификацию и интеграцию в ГИС для проведения комплексного анализа, инкрементальное моделирование с применением логических и теоретико-множественных операций, а также классификационных признаков нефтепроявлений на РЛИ морской поверхности различных типов нефтяных загрязнений, интерактивное дешифрирование и картографирование (создание ситуационных или обобщенных карт) нефтяных загрязнений.

Идентификация нефтяных пленок на спутниковых РЛИ относится к задачам, путь решения для которых априорно неизвестен. Поэтому для их решения используется инкрементальное моделирование (эвристический метод, основанный на опыте и интуиции эксперта). Инкрементальное моделирование, применительно к процессу выявления нефтяных пленок на спутниковых РЛИ, представляет собой комплексный анализ с поэтапным привлечением необходимой дополнительной информации для последовательного исключения сликообразующих явлений, не относящихся к нефтяному загрязнению, а также уменьшению неопределенности и повышению достоверности выявления различных типов нефтяных загрязнений на каждом этапе анализа данных. Выполняется в 3 этапа, каждый из которых разбивается на несколько итераций и требует привлечения необходимых видов дополнительной информации.

Первый этап проводится методом исключения из множества «темных пятен», визуализирующихся на РЛИ, сликообразующих явлений, не относящихся к нефтяным пленкам. При этом используется 4 комбинации основной и дополнительной информации: РЛИ, совмещение РЛИ с физико-географической информацией, с гидрометеорологическими данными, со спутниковыми квазисинхронными или синхронным данными видимого и ближнего ИК-диапазона.

Спутниковое РЛИ представляется в виде информационной модели Im, которая содержит множества геообъектов - нефтяных пленок SL_OIL и различных сликообразующих явлений SL_1...SL_8, выявленных на РЛИ. На каждой итерации Im дополняется новыми множествами OBJ_1…OBJ_5 (поля приводного ветра, поверхностных течений, объекты прибрежной топографии и т.д.), полученными из дополнительной информации D_1…D_6 и подвергается комплексному анализу с применением эвристических операторов OPI_1…OPI_6 (совокупность признаков сликообразующих явлений, которые использует эксперт при анализе).

В ходе комплексного анализа и проведения рекуррентных логических операций над множествами из информационной модели исключаются отдельные множества геообъектов - группы сликообразующих явлений.

Эту процедуру можно описать следующим образом:

1-я итерация: Im * OPI_1 → (SL_OIL, SL_1, …, SL_7), где Im (SL_OIL, SL_1, …, SL_8),

2-я итерация: Im ∪¬ D1 * OPI_2 → (SL_OIL, SL_1, ..., SL_6),

….....,

4- я итерация: Im ∪¬ (D_5 U D_6) * OPI_6 → (SL_OIL, SL_1).

В результате первого этапа из рассмотрения на РЛИ исключается большинство сликообразующих явлений, а оставшиеся «темные пятна» потенциально относятся к нефтяным пленкам, но при этом не определяются типы и источники загрязнений.

Второй этап инкрементного моделирования проводится *методом соответствия* параметров «темных пятен» на РЛИ с характерными (классификационными) признаками различных типов нефтяных загрязнений. Классификационные признаки являются важными элементами для понимания процессов развития нефтяных пятен на поверхности моря, которые имеют существенные различия (по толщине пленки, положению пленки относительно источника загрязнения, изменению параметров пленки под влиянием ветра и течений и другим характеристикам) для разных источников загрязнения (см. табл. 1). По совокупности классификационных признаков выявляется тип и источник загрязнения.

Процесс инкрементального моделирования второго этапа, детализированный по итерациям, можно описать с помощью логических формул (описаны в диссертационной работе) аналогично тому, как это было сделано на первом этапе. Однако существует и другой способ представления данного процесса – графический: в виде одномерного графика (траектории) «Пути решения задачи» (Рис. 1 а) или двумерного графика «Преодоления неопределенности в достижении конечного результата» (Рис. 1 б).

Из графика (Рис. 1а) видно, что второй этап инкрементального моделирования предполагает многотраекторный (состоящий из 5 траекторий) механизм решения задачи, который приводит к определению типов загрязнения (выносы речного стока, выносы с береговым стоком, естественные выходы углеводорода, судовой разлив, аварийный разлив) и включает адаптивный переход от одной траектории решения к другой, в случае, если классификационные признаки не соответствуют конкретному типу загрязнения. Каждый шаг траектории подразумевает привлечение нового вида дополнительной информации, увеличивает количество классификационных признаков и приближает эксперта к решению задачи по определению типов нефтяного загрязнения. В целом, траектории показывают, что достоверность определения типа нефтяного загрязнения на РЛИ зависит от полноты дополнительной информации. В общем случае используется 8 видов информации: РЛИ, совмещение РЛИ с физико-географической, с гидрометеорологической, с геолого-геофизической,

Таблица 1

Классификационные признаки разных типов нефтяных загрязнений

Тип загрязнения	Особенности формирования нефтяных пятен	Устойчивость к скорости ветра	Места обнаружения загрязнений	Геометрическая форма	Влияние ветра и течений на конфигурацию пятна, форму края, текстуру пятна на РЛИ морской пов-ти	Время существования пленки и повторные наблюдения
Аварийные разливы	Единовременные разливы больших объемов нефти и нефтепродуктов (преимущественно, в чистом виде)	от 2-3 до 10-12 м/с	В местах аварий буровых платформ, подводных трубопроводов, крушения нефтеналивных судов и т.д.	*От источника на поверхности* округлые или вытянутые с «хвостом» к источнику, *От источника на дне* вытянутые с сужающейся частью к источнику	Пленки подвержены влиянию приводного ветра и поверхностного течения: - резкие изгибы конфигураций пятен при изменении направления ветра и течения; - с наветренной стороны тонкая пленка (изменение текстуры пятна) и край в виде гребенки; - наличие суженной части к источнику	Наблюдаются на разновременных РЛИ (от суток до недели) или более в случаях постепенного истечения от аварийного источника
Судовые разливы	Разливы малых и средних объемов нефтепродуктов (в т.ч. в смешанном с морской водой виде), распределенных в пространстве и во времени	от 2-3 до 8-9 м/с	В следе за судном, на судоходных трассах, якорных стоянках и т.д., иногда вне судоходных трасс	*От движущегося судна*: протяженные линейные с сужающейся частью к источнику (прерывистые, иногда с изгибом) *От неподвижного судна*: округлые формы, часто с «хвостом» к источнику	Подвержены влиянию приводного ветра (процесс разрушения пленки более интенсивный, чем для аварийных): -изогнутая форма при локальном изменении интенсивности и направлении ветра, -с наветренной стороны образуется более тонкая пленка с краем в виде гребенки	Наблюдаются на разновременных РЛИ в зависимости от концентрации веществ (от нескольких часов до нескольких дней)
Выносы береговых стоков	Порции малых и средних объемов нефтепродуктов, поступающих с нерегулярной периодичностью	от 2-3 до 6-9 м/с	В прибрежных зонах: в местах канализационных выходов и от промышленных объектов и т.д.	Разнообразные формы: округлые и вытянутые от источников, длинные полосы вдоль побережья и т.д.	Подвержены влиянию течений: - удлинение формы пятна в направлении прибрежных поверхностных течений; - изменение толщины пленки по мере ее распространения и текстуры на РЛИ; влияние ветра наблюдается только на удалении от берега	Наблюдаются на разновременных РЛИ в местах систематического сброса нефтепродуктов
Выносы речного стока	То же, отличаются масштабностью и приуроченностью к устьям рек	То же	В устьях рек	Разнообразные формы, расширяющиеся от устья реки	Подвержены влиянию течений: пятно вытягивается в направлении поверхностных течений; в результате взаимодействия речного стока и течений отмечается завихренность части пленки; влияние ветра слабое	Наблюдаются на разновременных РЛИ в период длительных дождей на водосборе
Естественные источники	Выбросы небольших объемов нефти в зависимости от функционирования источника	от 2-3 до 6-7 м/с	Над грязевыми вулканами, холодными сипами диапирами, разломами и т.д.	Линейные, кольцевые, радиально-лучевые формы; двойные - тройные сигнатуры и т.д.	Пятна формируются под влиянием глубинных и поверхностных течений, вовлекаются в поле поверхностных течений и вихрей, наблюдается утолщение пятна в области всплытия	Наблюдаются в одних и тех же местах за счет "подпитки" от глубинных источников

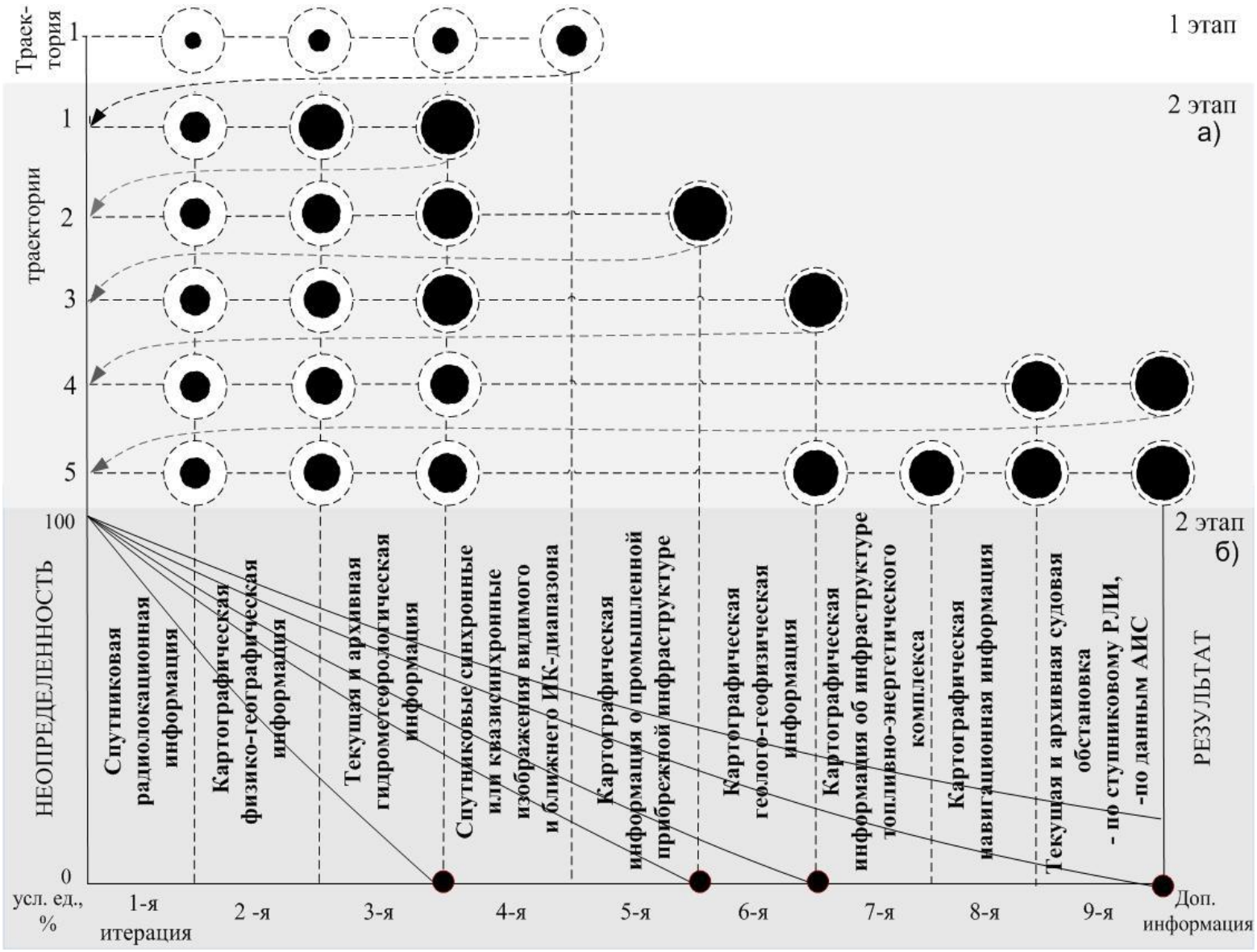

Рис. 1. *Инкрементальное моделирование, 1 и 2 этап. а) график «Пути решения задачи», состоящий из 5 траекторий (1 – выносы речного стока, 2 – выносы от берегового стока, 3 – естественные выходы углеводорода, 4 – судовые разливы, 5 – аварийные разливы), б) график «Преодоления неопределенности в достижении конечного результата»*

с навигационной информацией, информацией о промышленной инфраструктуре, инфраструктуре ТЭК, текущей и архивной судовой обстановкой.

На графике вклад каждой итерации в этот процесс отражается заполнением светлого круга черным цветом.

График (Рис. 1б), в отличие от траектории, указывает на степень преодоления неопределенности при определении типов нефтяных загрязнений для «темных пятен» на РЛИ в зависимости от количества привлекаемой дополнительной информации. По форме графика можно также судить о тех усилиях по обработке и интерпретации РЛИ, которые затрачивает эксперт при выявлении нефтяных пленок на фоне сликообразующих явлений и при определении типов нефтяных загрязнений на морской поверхности.

Третий этап необходим для подтверждения результатов интерпретации нефтяных загрязнений на РЛИ, если такая возможность существует, другими видами наблюдений: береговая видео - и радиолокационная съемка, попутные судовые наблюдения, спутниковые оптические и повторные радиолокационные данные.

В ***третьей главе*** с использованием методики геоинформационного анализа спутниковых РЛИ (глава 2) разработана опытная технология комплексного анализа в ГИС спутниковых РЛИ, данных береговой системы АИС, гидрометеорологической и другой информации для идентификации судов, причастных к разливу нефтепродуктов (на примере акватории порта «Новороссийск»), а также оперативного информирования служб порта о фактах и виновниках загрязнения морской среды.

Реализация технологии осуществляется из последовательных действий: сбор дополнительной информации о характеристиках морского бассейна в районе наблюдения и потенциальных источниках загрязнения акватории (группа геоданных «место»), сбор исходной (РЛИ ИСЗ RADARSAT - 1 и ENVISAT, но могут быть привлечены и другие доступные РЛИ) и дополнительной информации о параметрах морской среды на момент спутниковой съемки (группа геоданных «тема»); сбор разновременной дополнительной информации до и после проведения радиолокационной съемки (группа геоданных «время»), среди которых к наиболее информативным относятся данные береговой системы АИС; обработка РЛИ в специализированном программном комплексе; комплексный анализ в среде ГИС спутниковых РЛИ с применением классификационных признаков совместно с дополнительной информацией (инкрементальное моделирование), включая данные системы АИС; представление выявленных на РЛИ судовых разливов в векторном формате с атрибутивной информацией о координатах, предполагаемом источнике загрязнения, гидрометеорологических условиях на момент спутниковой съемки и других дополнительных сведений; оперативный обмен данными между спутниковым

Центром и портовыми службами с использованием WEB-картографического сервиса (on-line версия ГИС); подтверждение результатов анализа РЛИ и данных АИС другими видами информации.

По данной технологии в результате комплексного анализа из множества «темных пятен» на РЛИ выявляются судовые разливы. По форме пятна (протяженное или округлое) на РЛИ можно судить об условиях попадания нефтепродукта на морскую поверхность (с движущегося или неподвижного судна). По суженной части нефтяного пятна, заканчивающейся яркой точкой (интенсивное отражение радиолокационного сигнала от металлических частей судна), можно определить местонахождение судна, совершившего нефтяной разлив. При этом положение судна по отношению к судовому разливу может быть разным. Различают 4 сценария расположения судна относительно разлива: судно в непосредственной близости от разлива, судно на удалении, несколько судов на удалении от разлива, на РЛИ наблюдается только разлив.

На РЛИ можно определить координаты судов, однако невозможно определить название судна и его принадлежность к стране и порту приписки. Кроме того, если судно находится на удалении и тем более на значительном удалении (за пределами спутникового РЛИ) от нефтяного пятна, доказать, что именно оно причастно к нефтяному разливу, полагаясь только на РЛИ, практически невозможно.

Решить эту задачу можно в результате сопоставления спутникового РЛИ с данными береговой системы АИС. Система АИС содержит данные об идентификационном номере, типе судна, о геопространственном положении судна в акватории в отдельный момент времени, а главное, позволяет восстановить маршрут следования судна по времени и координатам (трек судна) и содержит информацию о перевозимом грузе. Использование информации АИС в данной технологии позволяет определить судно, причастное к сбросу нефтепродукта, по любому сценарию его положения относительно нефтяного разлива, исключение могут составлять только нефтяные разливы в районе интенсивного судоходства.

В России нет законодательной базы об использовании спутниковых РЛИ в качестве доказательств загрязнения акватории, несмотря на то, что результаты комплексного анализа РЛИ и данных системы АИС указывают на принадлежность нефтяного разлива к определенному судну. Юридическим основанием для доказательства нефтяного разлива являются только пробы с места сброса. Однако портовые службы (в частности, ФГУ АМП «Новороссийск») используют результаты спутникового радиолокационного мониторинга нефтяных разливов с целью проведения последующих проверок судов, подозревающихся в совершении разливов, на предмет неисправности нефтеочистного оборудования и причастности к

совершению несанкционированных сбросов. По результатам проверок суда могут быть, как минимум, задержаны в порту, что оказывает воспитательный эффект на капитанов судов.

Для эффективного использования службами порта результатов спутникового мониторинга судовых разливов нефтепродуктов необходимо, чтобы результаты обработки спутниковых РЛИ были оперативно переданы до захода судна в порт, что возможно с использованием WEB-картографического сервиса. При этом WEB-картографический сервис становится системой оперативного доступа к различным видам информации (спутниковым РЛИ и результатам их анализа, гидрометерологической информации, результатам анализа данных береговой системы АИС и другой дополнительной информации), полученной из разных источников, способствующей правильному принятию решения. Вся процедура проведения такого комплексного анализа с применением целевой проверки показана на рис. 2.

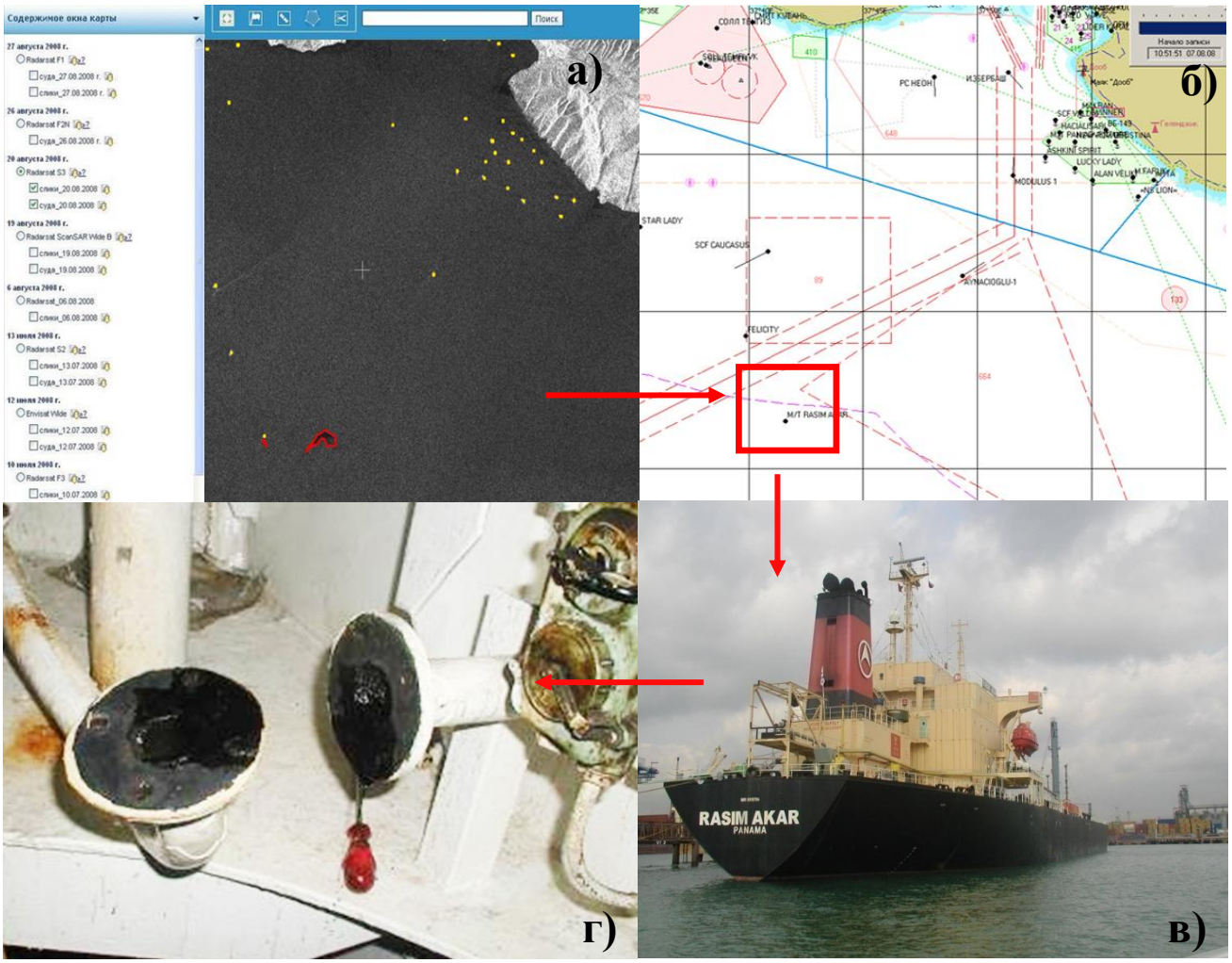

Рис. 2. *а) Спутниковое РЛИ RADARSAT-1 от 20.08.2008 г. на пользовательском интерфейсе WEB-картографического сервиса (красным цветом выделен разлив, желтым — суда) © MDA, CSA, СКАНЭКС, б) положение судна на момент радиолокационной съемки по данным АИС © ЗАО «Транзас», ФГУ «АМП Новороссийск», в) Судно-причастное к разливу – «Расим Акар», г) в результате досмотра судна службами порта выявлена неисправность водоочистного оборудования. © ФГУ «АМП Новороссийск».*

Технология экспериментально использовалась в рамках проекта «Обнаружение нефтяных загрязнений с судов в Азово-Черноморской зоне ответственности Российской Федерации» в 2008-2009 гг. в ходе совместной работы ИТЦ «СКАНЭКС» и ФГУ «АМП Новороссийск», также в «Космическом мониторинге российского сектора Черного и Азовского морей» 2011 г. при совместной работе ФГБУ «НИЦ «Планета» и ФГУ «АМП Новороссийск». В результате ее реализации на 33 РЛИ (из общего количества 68 съемок) был обнаружен 41 судовой разлив нефтепродуктов, при совместном анализе с данными АИС установлено 13 судов (для 32 % разливов), причастных к указанным разливам; из этих судов 4 судна были задержаны службами порта, 8 судов записаны в список подозреваемых и установлено 1 нелегальное судно.

Результаты практического применения данной технологии использовались при разработке предложений Росгидромета об установке на перспективных российских спутниках серии «Метеор-МП», наряду с радиолокационной аппаратурой высокого разрешения, отечественной системы АИС.

В ***четвертой главе*** с использованием методики геоинформационного анализа спутниковых РЛИ (глава 2) разработана технология комплексного анализа информации по горизонтам природных сред для изучения естественных выходов углеводорода из глубинных недр в мелководных и глубоководных районах Азово-Черноморского бассейна.

Важность изучения естественных выходов углеводорода из глубинных недр на морскую поверхность обусловлена не только экологическим фактором, но и необходимостью учета этих опасных природных явлений при проектировании и строительстве нефтяных платформ и нефтехранилищ на морском шельфе, подводных нефтепроводов и других производственных объектов нефтегазового комплекса.

Поверхностные проявления активности подводных геологических объектов *в мелководной части* морского шельфа рассматривались на примере извержения грязевого вулкана Голубицкий в Темрюкском заливе в российском секторе Азовского моря. На РЛИ ИСЗ «ENVISAT» (разрешение 150 м., 30.09.2011 7:43 UTC) были выявлены следующие особенности: наличие светлых сигнатур, связанных с образованием на морской поверхности грязевого пятна в результате извержения грязевулканического материала, а также наличие темных сигнатур по периферии грязевого пятна, обусловленных поступлением из недр органических веществ.

Поверхностные проявления активности подводных геологических объектов *в глубоководном районе* рассматривались на примере естественных выходов углеводорода из горы Печори и сипа Колхети в грузинском секторе восточной части Черного моря. При проведении анализа использовались материалы геолого-геофизических исследований Metro 2004 г., TTR-15 2005 г., MSM 15/2 2010 г.

На первом этапе работы была составлена геолого-тектоническая характеристика района, которая позволила отнести район Риони к нефтегазоносному и определить наличие диапировых антиклинальных структур, образованных майкопскими глинами. Далее по результатам анализа сейсмической съемки (материалы экспедиции TTR-15) над сводом одной диапировой структуры на северном склоне хребта Кобулети отмечен питающий канал диапировой горы Печори и два ядра прорывания диапира у сипа Колхети, по которым происходит миграция газонасыщенного материала к морскому дну.

Цифровая модель рельефа дна, построенная по гидроакустическим данным при глубинах моря 1000÷1370 м (материалы экспедиции MSM 15/2), на хребте Кобулети в местах расположения подводящих каналов Печори и Колхети выявила положительные формы рельефа - конусообразные поднятия: диаметром 2-2,5 км и высотой 75 м для Печори; диаметром 1,4 км и высотой 20 м для Колхети. Полученные, таким образом, конусообразные возвышения рельефа дна позволили уточнить положение естественных выходов на морском дне.

По данным гидроакустического зондирования вертикального водного столба над хребтом Кобулети были выявлены одновременно функционирующие: газовый факел из кратера Печори и два газовых факела сипа Колхети. В свою очередь каждый газовый факел состоял из нескольких близко расположенных струй газовых пузырьков. Сопоставление эхограммы и сейсмического профиля показало, что ширина газовых факелов соответствует ширине кратеров у г. Печори и сипа Колхети. При этом уменьшение интенсивности отраженного эхо-сигнала газовых факелов вертикального водного столба от морского дна к морской поверхности свидетельствовало о том, что только часть газовых пузырьков доходит до поверхности моря. Потенциально достичь морской поверхности могут только крупные пузырьки с диаметром 1 см, более мелкие разрушаются на первых 100 м.

Данные глубоководной телевизионной съемки (TTR-15) также подтвердили, что из указанных геологических объектов выходят струи газовых пузырьков. Сопоставление данных подводной телевизионной съемки и гидроакустического зондирования вертикального водного столба позволило объяснить механизм переноса нефтепродуктов из глубинных недр на морскую поверхность. Известно, что существуют три вида естественных выходов нефтегазовых компонент: газовые пузырьки, жидкие капли и пузырьки, заполненные газом с нефтяной оболочкой. Газовые пузырьки по мере всплытия быстро разрушаются, насыщая толщу морской воды органическим веществом. Часть жидких капель, имеющих большую плотность, при соприкосновении с морской водой охлаждаются и опускаются на дно вблизи кратера (подводная телевизионная съемка зафиксировала скопления темных пятен

вблизи кратера). Другая часть жидких капель, имеющих меньшую плотность, по мере всплытия с больших глубин растворяется или перемешивается с водой. При этом на морской поверхности нефтяной пленки наблюдаться не будет. Пузырьки с нефтяной оболочкой имеют значительный объем и небольшую массу, они с большой скоростью преодолевают большие расстояния. Силы поверхностного натяжения нефтяной оболочки предохраняют пузырек от быстрого разрушения. Внутри пузырька находится капля нефтепродукта, образованная за счет утолщения нижней части нефтяной пленки пузырька во время всплытия. Нефтяная оболочка пузырька защищает нефтяную каплю от непосредственного контакта с водой и доставляет на морскую поверхность в чистом виде. Газ, содержащийся в оболочке пузырька, при достижении морской поверхности высвобождается в атмосферу.

Проведенный анализ показывает, что при естественных выходах углеводорода только малая часть органического вещества (в виде нефтяной пленки) попадает на поверхность моря, наибольшим углеводородным загрязнениям подвержены морское дно и нижние слои водного столба в окрестности естественного источника.

На завершающем этапе данной работы был проведен анализ высокодетального радиолокационного изображения ИСЗ ENVISAT (сенсор ASAR, разрешение 30 м., 15.09.2003 7:32 UTC), который показал наличие нефтепроявлений на морской поверхности в виде тройных сигнатур над очагами естественного выхода углеводорода г. Печори и сипа Колхети. Причем каждая сигнатура состоит из нескольких близкорасположенных пятен.

Сопоставление спутникового РЛИ, гидроакустического зондирования вертикального водного столба и сейсмической съемки (пространственное совмещение положительных форм рельефа дна, положения газовых факелов и конфигурации 3-х сигнатур на РЛИ) позволило:

- подтвердить одновременную активность 3-х очагов выхода углеводорода: из грязевой/диапировой г. Печори и двух ядер прорывания сипа Колхети;
- объяснить многосложную форму отдельных нефтяных пятен многоструйностью выходов нефтегазовых пузырьков.

На основе комплексного анализа сейсмической, гидроакустической, глубоководной телевизионной и спутниковой радиолокационной информации сделан вывод, что многосложная тройная структура нефтяных пятен на РЛИ обусловлена геологическими особенностями подводных геологических объектов - выбросами углеводорода из многочисленных вертикальных нарушений диапировой антиклинальной структуры и не связана с периодичностью действия глубоководного источника. Процедура комплексного анализа по горизонтам геологической и морской сред для изучения естественных выходов углеводорода показана на рис.3.

Кроме того, в работе проведен анализ пространственно-временных характеристик нефтепроявлений на морской поверхности от естественных выходов углеводорода (г.г. Печори, Иберия, сипов Колхети, G2, G6, сипа близ г. Ризе в грузинском и турецком секторах Черного моря) по спутниковым радиолокационным данным в период с апреля 2009 г. по июнь 2011 г.

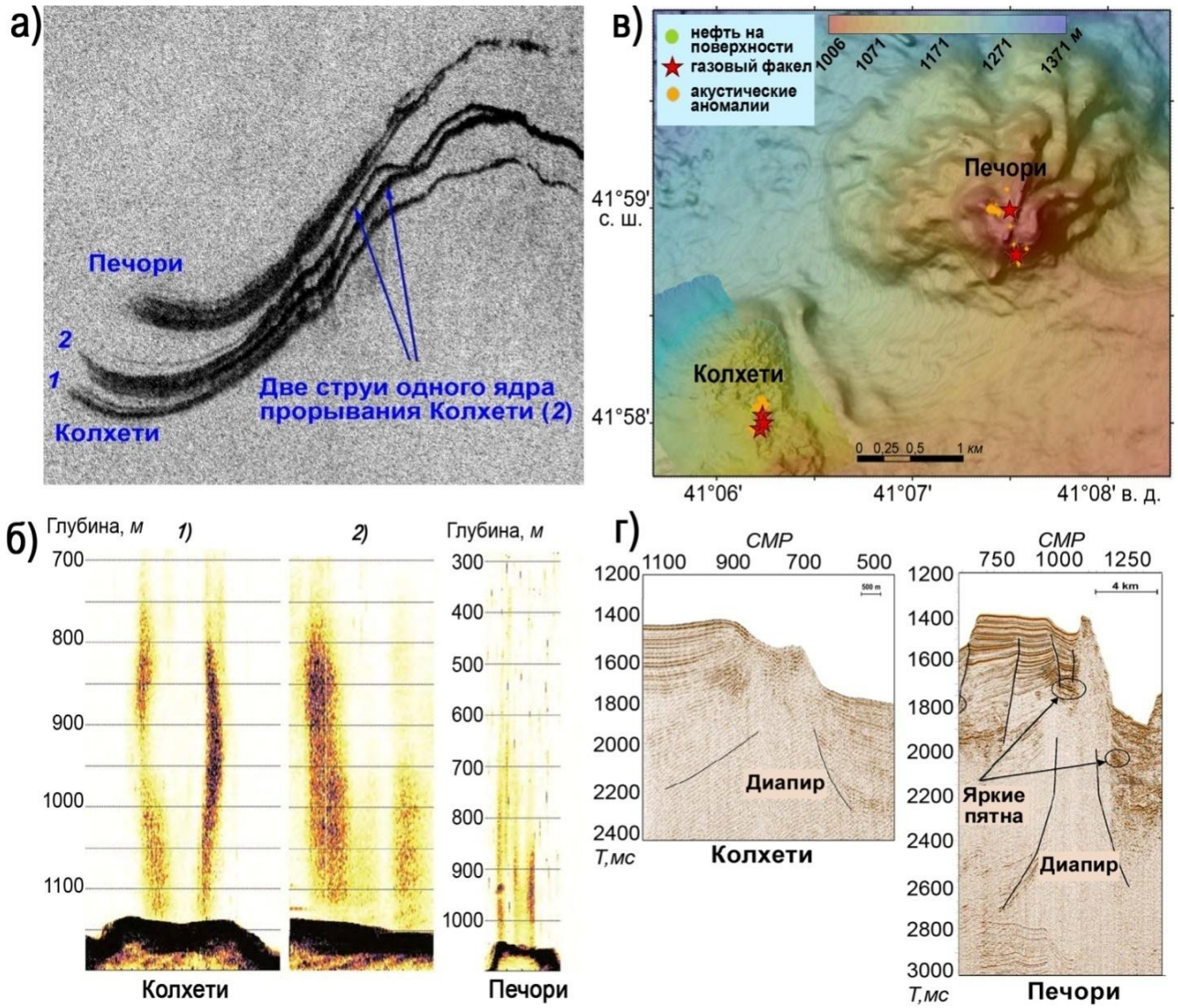

Рис. 3. *(а) Нефтепроявления на морской поверхности от сипа Колхети (1 и 2 из двух ядер прорывания диапира) и г. Печори на радиолокационном изображении ASAR ИСЗ «ENVISAT» 15.09.2003г. 7:32 UTC© ESA; (б) газовые факелы в водном столбе из 2-х ядер прорывания диапира у сипа Колхети (1,2) и из кратера Печори [NETL USA]; (в) сип Колхети и г. Печори на цифровой модели рельефа дна [NETL USA] и (г) соответствующие питающие каналы сипа Колхети и горы Печори на сейсмических профилях осадочного чехла (яркие пятна указывают на присутствие газогидрата; T- время распр. отраженной звуковой волны, CMP - длина (в усл. ед.)[UNESCO-IOC TTR-15 и Wagner-Friedrichs M. et al.].*

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Для обеспечения экологического мониторинга морской поверхности разработана новая методика геоинформационного анализа спутниковых РЛИ, предназначенная для идентификации нефтяных пленок на фоне других сликообразующих явлений на поверхности моря, определения типов нефтяных загрязнений и их принадлежности к различным источникам загрязнения. При разработке методики:

- определены требования к спутниковым РЛИ, а также к гидрометеорологическим условиям морской поверхности, оптимальным для наблюдения нефтяных пленок;
- сформулированы классификационные признаки нефтепроявлений на радиолокационных изображениях для разных типов нефтяных загрязнений;
- осуществлена интеграция в ГИС спутниковых РЛИ, сведений о характеристиках морского бассейна, о гидрометеорологических условиях морской среды на момент космической съемки, о потенциальных источниках загрязнения и других данных;
- впервые предложен метод геоинформационного анализа спутниковых РЛИ и другой дополнительной информации с использованием инкрементального моделирования процессов идентификации нефтяных пленок, что позволяет классифицировать нефтяные загрязнения по типам (аварийные разливы, судовые разливы, береговые выносы, речной сток, естественные выходы углеводорода), а также отличать их от других сликообразующих явлений;
- предложен метод представления в ГИС, выявленных по РЛИ, нефтяных пленок в векторном формате с атрибутивной информацией о координатах, типах и источниках загрязнения, ускоряющий и упрощающий процесс доведения информации до потребителей;

2. С использованием созданной методики разработаны и предложены следующие технологии:

- опытная технология комплексного анализа в среде ГИС спутниковых РЛИ, данных береговой системы АИС, гидрометеорологической и другой информации для идентификации судов, совершивших разлив нефтепродуктов в зоне действия береговой системы АИС;
- технология оперативной доставки данных о фактах и масштабах загрязнения морской среды до портовых служб и других заинтересованных потребителей с использованием WEB-картографического сервиса;
- опытная технология комплексного анализа спутниковой радиолокационной и сейсмической, гидроакустической, глубоководной телевизионной по различным горизонтам геологической и морской сред для изучения естественных выходов углеводорода в мелководных и глубоководных районах моря.

3. Опытная технология комплексного анализа в среде ГИС спутниковой

радиолокационной информации, данных береговой системы АИС и другой информации с применением WEB-картографического сервиса экспериментально использовалась при совместной работе ИТЦ «СКАНЭКС» и ФГУ «АМП Новороссийск» в период 2008-2009 гг., а также при совместной работе ФГБУ «НИЦ «Планета» и ФГУ «АМП «Новороссийск» в 2011 г. В результате данных экспериментов, впервые в территориальных водах Российской Федерации были установлены 13 судов, причастных к разливам нефтепродуктов; из них 4 судна были задержаны службами порта, 8 судов записаны в список подозреваемых и установлено 1 нелегальное судно.

4. Опытная технология комплексного анализа в среде ГИС сейсмической, гидроакустической, глубоководной телевизионной и спутниковой радиолокационной информации по различным горизонтам геологической и морской сред для изучения естественных выходов углеводорода с целью:

- установления факта активности подводных геологических объектов в глубоководных и мелководных морских районах;
- объяснения механизма доставки углеводорода из глубинных недр на морскую поверхность и конфигураций нефтепроявлений на морской поверхности.

5. Опытная технология комплексного анализа информации по различным горизонтам природных сред была практически реализована при изучении выходов углеводорода из горы Печори и сипа Колхети в глубоководных районах (грузинский сектор Черного моря), а также грязевого вулкана Голубицкий в мелководном районе (российский сектор Черного моря). Получены оценки некоторых характеристик естественного выхода углеводорода (периоды активности и интенсивность поступления углеводорода, формы и площади нефтепроявлений на морской поверхности).

Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть использованы не только для экологического мониторинга морской поверхности, но и при строительстве нефтяных платформ и нефтехранилищ на морском шельфе, подводных нефтепроводов и других производственных объектов нефтегазового комплекса.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Статьи в журналах из списка ВАК:

1. Иванов А.Ю., Голубов Б.Н., Затягалова В.В. О нефтегазоносности и разгрузке подземных флюидов в южной части Каспийского моря по данным космической радиолокации // Исследование Земли из космоса. – 2007. – № 2. – С. 62–81.

2. Иванов А.Ю., Голубов Б.Н., Затягалова В. В. Прогноз нефтегазоносности и поиск нефтяных месторождений в море по данным космической радиолокации // Технологии ТЭК. – 2007. – № 4. – С. 40–47.

3. Иванов А.Ю., Затягалова В.В. Картографирование пленочных загрязнений моря с использованием космической радиолокации и географических информационных систем // Исследование Земли из космоса. – 2007. – № 6. – С. 46–63.
4. Иванов А.Ю., Литовченко К.Ц., Затягалова В.В. Аварийный разлив мазута в Керченском проливе: радиолокационный мониторинг и результаты моделирования// Исследование Земли из космоса. – 2008. – № 4. – С. 62–76.
5. Кучейко А.А., Затягалова В.В., Запорожец Н.А. Радиолокационный мониторинг разливов нефти и нефтепродуктов в акваториях // Бурение и нефть. – 2008. – № 11. – С. 13.
6. Кучейко А.А., Затягалова В.В. Российские космические технологии: новые возможности оперативного мониторинга и контроля // T – comm. – 2010. – №2. – С. 18–21.
7. Затягалова В.В. Комплексный анализ естественных выходов углеводорода в восточной части Азово-Черноморского бассейна на основе спутниковых наблюдений и данных геолого-геофизических исследований // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 3. – С. 56–70.
8. Затягалова В.В. О некоторых особенностях естественных выходов углеводорода в восточной части Азово-Черноморского бассейна // Сборник конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – 2012. – Т. 9. – № 4. – С. 194–201.

Статьи в зарубежных рецензируемых журналах:

9. Ivanov A., Zatyagalova V. A GIS approach to mapping of oil spills in the marine environment // International Journal of Remote Sensing. – 2008. – V.29. – № 21. – P. 6297–6313.
10. Zatyagalova V., Zaporozhets N. Monitoring marine pollution // Hydro International. – 2009. – V. 13. – № 4. – P. 14–16.

Статьи в трудах зарубежных конференций:

11. Zatyagalova V., Ivanov A. Hydrocarbon seeps and mud volcanoes in the Caspian Sea characterized with use of the Envisat ASAR images // Proc. ISRS-2006-Porsec. – 2–4 november 2006, Busan. Korea. – V.1 – P. 346–349.
12. Zatyagalova V., Ivanov A. Using Envisat ASAR images to detect and characterize hydrocarbon seeps in the Caspian Sea // Proc. 6th EUSAR Conf. – 16–18 May 2006, Dresden. Germany. – VDE № 562960355.
13. Zatyagalova V., Ivanov A., Golubov B. Application of ENVISAT SAR imagery for mapping and estimation of natural oil seeps in the South Caspian Sea // Proc. of the ENVISAT Symposium 2007. – 23–27 April 2007. Montreaux. Switzerland. – ESA SP–636.
14. Ivanov A., Zatyagalova V. A GIS Approach to Mapping Oil Spills in the Marine

Environment// Proc. of the ENVISAT Symposium 2007. – 23–27 April 2007, Montreaux. Switzerland. – ESA SP–636.

15. Ivanov A., Zatyagalova V. Application of SAR to Monitoring Activities and Environmental Parameters during Oil Platform Installation // Proc. EUSAR 2008. – 2–5 June 2008, Friedrichshafen. Germany. – V.1 – P. 463–467.

16. Ivanov A., Zatyagalova V. Monitoring of Activities and Environmental Parameters with Synthetic Aperture Radars during Oil Platform Installation // Proc. of the PORSEC 2008. – 2-5 december 2008, Guangzhou China. South China. – P. 68–69.

Основные статьи в трудах российских международных конференций и научно-популярных журналах (полный список публикаций приводится в диссертации):

17. Иванов А. Ю., Затягалова В.В. Радиолокационный мониторинг мест установки и транспортировки морской платформы // Oil & Gas Journal Russia. – 2008. – № 3(16). – С. 61–70.

18. Затягалова В.В. Новый сервис оперативного обнаружения разливов нефти на море // Информационный бюллетень «ГИС Ассоциации». – 2008. – № 19. – С. 52–53.

19. Затягалова В.В. Спутниковый мониторинг загрязнения акваторий нефтью и нефтепродуктами // Инженерные изыскания. – 2009. – № 6 – С. 28–31.

20. Кучейко А.А., Затягалова В.В. Радиолокационный мониторинг разливов нефти и нефтепродуктов в Азово-Черноморском регионе // Геопрофиль. – 2009. – № 1(4). – С. 42–46.

21. Затягалова В.В., Фляум М.Г., Филимонова Н.А. Некоторые результаты оперативного системного мониторинга нефтяных загрязнений с транспортных судов в бассейне Черного моря по результатам за 2008-2009 гг. // Каталог. Навигационные системы, технологии и услуги. – 2009. – С. 60–65.

22. Затягалова В.В. Веб-геоинформационный подход для задачи оперативного мониторинга морей с использованием космических радиолокационных снимков // Сборник статей по итогам международной научно-технической конференции, посвященной 230-летию основания МИИГА и К. – 2009. – Ч. 2. – С. 182–187.

23. Затягалова В. В., Филимонова Н.А. Космические технологии России: во благо экологии Азово-Черноморского региона // Территория Нефтегаз. – 2009. – № 5. – С. 12–15.

24. Затягалова В.В. О роли космической радиолокации и геоинформационных систем в комплексном исследовании нефтепроявлений восточной части Черного моря // Сб. статей по итогам научно-технич. конф. – 2011. – № 6. – Вып. 4. – С. 37–40.

25. Затягалова В.В. Геоинформационный подход при мониторинге загрязнения моря по данным дистанционного зондирования Земли из космоса // Науки о Земле. – 2012. – №2 – С. 80–86.