

*На правах рукописи*

Андреева Зоя Владимировна

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АКВАТОРИЙ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ**

25.00.33 – Картография

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



МОСКВА – 2012

Работа выполнена на кафедре картографии  
Московского государственного университета геодезии и картографии  
(МИИГАиК)

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
Верещака Тамара Васильевна

**Официальные оппоненты:** Сладкопевцев Сергей Андреевич,  
доктор технических наук,  
профессор, кафедра географии  
Московского государственного  
университета геодезии и картографии,  
профессор

Котова Татьяна Викторовна,  
кандидат географических наук,  
Научно-исследовательская  
лаборатория комплексного  
картографирования Географического  
Факультета Московского  
государственного университета  
им. М. В. Ломоносова,  
ведущий научный сотрудник

**Ведущая организация:** Институт водных проблем РАН

Защита состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г. в \_\_\_\_ час.

на заседании диссертационного совета Д.212.143.01  
при Московском государственном университете геодезии и картографии  
(МИИГАиК) по адресу: 105064, Москва, Гороховский пер., д. 4, МИИГАиК,  
зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского  
государственного университета геодезии и картографии.

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Краснопевцев Б.В.

**Актуальность темы исследования.** Современная биосфера – результат постоянного взаимодействия двух основных систем: наземной и морской. Морская составляющая более древняя и покрывает большую часть поверхности Земли. Экосистемы Мирового океана регулируют все аспекты жизни на нашей планете, играют ключевую роль в формировании погоды и климата на Земле. Экономика почти всех стран связана с использованием природных ресурсов океана, антропогенные воздействия на акватории становятся одним из существенных факторов, преобразующих водные экосистемы. Все это определяет актуальность изучения аквальных систем и их экологического состояния. Один из эффективных путей – их многоплановое и оперативное картографирование на основе спутниковых данных, характеризующихся высокой степенью пространственно-временной дифференциации.

Совместное использование карт, информационного потенциала космических снимков в рамках целенаправленной концепции, учитывающей специфику динамичной водной среды и достижения в области экологии океана, могут обеспечить разностороннее изучение характеристик аквальных систем, необходимых для оценки экологического состояния акваторий.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационного исследования является разработка методики картографической оценки экологического состояния аквальных систем с использованием различных типов спутниковых данных. Реализация поставленной цели потребовала решить следующие задачи:

- проанализировать существующие подходы к оценке экологического состояния природных систем суши и акваторий;
- разработать концептуальную модель оценки экологического состояния акваторий и обосновать критерии его оценки;
- выявить комплекс факторов окружающей среды, воздействующих на аквальные экосистемы;
- обосновать систему эколого-географических карт для цели исследования;

- определить требования к спутниковым данным и предложить технологические схемы их обработки для информационного обеспечения системы карт;

- выполнить экспериментальные исследования по оценке экологического состояния и его индикаторов на тестовой акватории (российский сектор Черного моря).

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются аквальные природные системы, их экологическое состояние. Предмет исследования – принципы и методы картографирования и картографической оценки экологического состояния акваторий на основе спутниковых данных.

**Методы исследования.** Диссертационное исследование строится на системном картографическом подходе, опирается на теоретические и методологические основы общегеографического, тематического и комплексного картографирования, космические методы в геоэкологии, а также на достижения в изучении и освоении Мирового океана. Используются имеющиеся разработки в области цифровых компьютерных технологий и геоинформационного картографирования.

**Состояние и изученность проблемы.** Проблема изучена по опубликованным работам, изданным картам, экологическим атласам и раскрыта в первой главе диссертации. Используются труды отдельных авторов и творческих коллективов в области экологического картографирования, дистанционного зондирования, биологии океана: А.Л. Верещаки, 2003, 2005 гг.; Т.В. Верещаки, 1991, 1997, 2002 гг.; М.Е. Виноградова, 1977, 1987 гг.; В.Т. Жукова, 1999 г.; Л.А. Зенкевича, 1977 г.; Ю.А. Израэля, 1989 г.; А.Г. Исаченко, 1991, 1992, 1993 гг.; Ю.Ф. Книжникова, 1998, 2011 гг.; Н.И. Коронкевича, 2003 г.; Л.М. Корытного, 1991 г.; Б.И. Кочурова, 1994, 2003 гг.; В.И. Кравцовой, 1998, 2011 гг.; О.Ю. Лавровой, 2011 г.; В.А. Малинникова, 2005 г.; Б.А. Новаковского, 1999 г.; Ю. Одума, 1975 г.; В.С. Преображенского, 1990, 1992 гг.; Дж. Раймонда, 1983 г.; С.Е. Сальникова, 1993 г.; С.А. Сладкопевцева, 2008

г.; В.Б. Сочавы, 1970 г.; W. Alpers, 1989, 2005 гг.; H. Espedal, 1998, 2005 гг.; В. Furevik, 2004 г.; M. Gade, 1998 г.; H. Hühnerfuss, 1998 г. и многих других.

**На защиту выносятся:**

1. Концепция оценки экологического состояния аквальных систем.
2. Система карт, отвечающих концепции оценки.
3. Методика оценки экологического состояния акваторий, основанная на картографическом и спутниковом информационном обеспечении.
4. Авторские оригиналы карт (11 типов карт на тестовую акваторию).

**Научная новизна.** Предлагаемая диссертация – первое исследование, в концепцию и методику которого положена идея комплексного использования: системы оценочных эколого-географических карт; информационного потенциала спутниковых данных; показателей биологической продуктивности акваторий как критериев оценки. Наиболее оригинальные научные результаты:

- концептуальная модель оценки экологического состояния акваторий;
- система карт-критериев и карт-факторов экологического благополучия акваторий (в рамках концепции исследования);
- методика картографической оценки экологического состояния акваторий, апробированная на тестовом полигоне (авторские оригиналы карт);
- технологические схемы обработки различных типов спутниковых данных для создания системы карт.

**Практическая значимость работы** непосредственно связана с ключевой ролью вод Мирового океана и его ресурсов в обеспечении экономического, социального благополучия и здоровья населения, которое в большой степени зависит от экологического состояния акваторий.

Результаты диссертационных исследований внедрены в оперативную практику федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета» (ФГБУ «НИЦ «Планета») при реализации проекта «Космический мониторинг загрязнения водной среды Азово-Черноморского бассейна», о чем имеется

документальное подтверждение, а также в учебный процесс Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК).

**Апробация результатов работы.** Диссертационные исследования докладывались и обсуждались на всероссийской открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (2008, 2009, 2010 гг.); на конференции «Использование средств и ресурсов единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане для информационного обеспечения морской деятельности в Российской Федерации» (ЕСИМО'2012) в 2012 году; на ежегодно проводимой научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных МИИГАиК (2010, 2011, 2012 гг.).

**Публикации.** Основные положения и результаты диссертации опубликованы в 9 работах автора, из которых 2 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

**Объём и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Содержит 129 страниц текста, 7 таблиц, 43 рисунка. Список литературы включает 179 наименований, из них 28 – на иностранном языке.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследований.

### **Глава 1. Оценка экологического состояния природных систем суши и акваторий. Обзор исследований**

В главе подробно рассмотрены различные подходы к оценке экологического состояния природных систем суши и акваторий, при этом сделан акцент на возможность применения анализируемых методов для аквальных систем с учетом специфики водной среды как объекта исследования.

Проведенный анализ позволил сделать вывод, что сущность и задачи экологического картографирования определяются понятием «экология» и

меняются с его эволюционированием. В настоящее время в экологическом картографировании выделяют три основных направления: биоцентрическое, антропоцентрическое и геоцентрическое, каждое из которых отражает особенности взаимодействия субъекта оценки с окружающей средой.

Дискуссионным является вопрос определения субъекта, с позиций которого следует проводить оценку экологического состояния и последующее районирование аквальных комплексов. В качестве критерия могут быть выбраны состояние популяций гидробионтов или состояние здоровья людей, потребляющих водные ресурсы или проживающих в береговой зоне, а также состояние геосистем с позиций их сохранения при различных воздействиях.

Оценка экологического состояния природной среды как целостной системы является проблемой методологической. При исследовании ландшафтов суши и акваторий долгое время преобладал аналитический подход с поэлементным анализом слагающих геосистему компонентов. Системный подход к изучению природной среды позволяет соединить отдельные части исследуемого явления и дать целостную, интегральную характеристику анализируемого объекта с учетом связей, существующих между компонентами рассматриваемой системы (А.Г. Исаченко, 1990). Применительно к исследованию акваторий этот вопрос является особенно актуальным, так как только в середине XX века географы стали задумываться о приемлемости комплексного ландшафтного подхода для изучения природы Мирового океана (Б.В. Преображенский, 1982; К.М. Петров, 1989). Не случайно, Н.А. Солнцев писал о некорректности применения термина «ландшафт» по отношению к природным аквальным комплексам, «...так как «land» все-таки – земля, а не вода». Однако С.П. Хромов считал возможным применять понятие «ландшафт» к морской среде: «Морской ландшафт вряд ли обладает меньшей определенностью, чем ландшафт суши».

Несмотря на то, что синтез по существу представляет собой более высокую форму научного познания и позволяет установить корреляцию между компонентами системы, при оценочном картографировании возникает потребность как в интегральных, так и в аналитических картах. Если одни из

них необходимы для комплексной оценки состояния, то другие – для определения факторов, его порождающих. Объективность и полнота оценки обеспечивается установлением связей конкретных внешних воздействий («входы» в сложные природные системы) с вызванными ими изменениями (нарушениями) в природной среде («выходы» из геокомплексов).

В подходах к оценочным методикам самостоятельной темой исследования является определение и обоснование операционной территориальной единицы, в пределах которой локализуется тематическое содержание. В публикациях обосновываются физико-географические, ландшафтные, бассейновые (рек, озер, морей) единицы, территориальные единицы, выделяемые по ведущему ландшафтообразующему фактору, по видам использования земель, административным районам или ячейкам регулярных геометрических сеток (А.Г. Исаченко, 1991; Л.М. Корытный, 1991; А.Н. Солнцев, 2001; Н.А. Новиков, 2006 и др.). В диссертации проанализированы возможности использования различных территориальных единиц картографирования для оценки экологического состояния аквальных систем.

Наиболее сложной в методическом плане при оценочном картографировании является проблема перехода от частных (поэлементных) оценок к единой интегральной оценке природной среды. Вариантами решения проблемы являются балльная форма интегральных оценок (Л.И. Мухина, 1974; Д.Л. Арманд, 1973), эколого-экономический подход (Э.Ю. Сафаров, 2006), принцип биоиндикации (В.А. Абакумов, 1992), система предельно-допустимых нагрузок (Л.Л. Карпович, 1994) и концентраций (С.Д. Авилова, 1997).

Среди фундаментальных произведений, в которых реализуются научные идеи экологического картографирования наземных систем, назовем Национальный атлас России том «Природа и экология» (2007); «Экологический атлас России» (2002); «Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации» (2005); «Эколого-географическая карта Российской Федерации» масштаба 1:4 000 000 (1996); карта «Состояние окружающей природной среды Российской Федерации»



масштаба 1:8 000 000 (1996). Что же касается экологического картографирования акваторий, то оно характеризуется преобладанием исследований, направленных на изучение загрязнения морей, и доминированием карт инвентаризационного типа (И.А. Суетова, Л.А. Ушакова, 2002; Л.Е. Смирнов, Т.И. Золотова, 1997; Л.А. Беспалова, 2007; М.А. Новиков, 2006; атлас океанов, том «Человек и океан», 1996 и др.).

## **Глава 2. Концепция исследования и система карт для оценки экологического состояния акваторий**

### **Концепция исследования**

В настоящее время при оценке экологического состояния акваторий наиболее широкое распространение получил подход, основанный на учете целого ряда гидрохимических показателей и анализе их отклонений от предельно допустимых значений (концентраций). Но этот подход имеет существенные недостатки: ограниченность (или отсутствие) фактической информации; невозможность ее получения с необходимой периодичностью; вероятность оставить неучтенными значимые для исследуемой экосистемы параметры. Кроме того, состояние экосистемы определяется не только комплексом рассматриваемых гидрохимических элементов, но зависит от характера их взаимодействия и его последствий. Поэтому при оценке экологического состояния акваторий мы сочли более надежным использовать *принцип биоиндикации*, так как состояние живых организмов, населяющих водную среду, является чутким отражением (индикатором) ее экологического благополучия. Следующее достоинство метода заключается в возможности выявления итогового состояния экосистемы, сформированного за определенный промежуток времени, что позволяет говорить о «накопленных» изменениях. Объектом биоиндикации акваторий выбраны *сообщества фитопланктона*, что обусловлено ключевым значением планктонных водорослей в процессе жизнедеятельности Мирового океана.

Морская экосистема характеризуется благоприятной экологической обстановкой при относительно постоянном уровне биологической

продуктивности вод. Сбалансированность функционирования обеспечивается равновесием между продукционными и деструкционными процессами.

Уровень биологической продуктивности прибрежных зон морей и внутренних водоемов во многом определяется характером хозяйственной деятельности. Под ее воздействием происходит антропогенное эвтрофирование – значительное повышение уровня первичной продукции вод в результате интенсивного поступления биогенных элементов, главным образом азота и фосфора. Очень часто антропогенное обогащение акватории питательными веществами достигает больших масштабов и приводит к чрезмерному развитию (вспышке цветения) фитопланктона, а следовательно, к нарушению сбалансированности функционирования экосистемы. Образовавшаяся биомасса фитопланктона, неостребованная более высокими звеньями пищевой цепи, в процессе своего разложения поглощает большое количество растворенного в воде кислорода и выделяет углекислый газ. Возникающий дефицит кислорода может приводить к заморным явлениям. Кроме того, при вспышках цветения фитопланктон интенсивно развивается в поверхностном слое моря, поглощая солнечную радиацию и ограничивая поступление света в более глубокие слои моря. Это обуславливает еще большее снижение растворенного кислорода. Вспышки цветения приводят к последующему массовому отмиранию клеток фитопланктона, что сопровождается интенсивным образованием органических пленок биогенного происхождения. Биогенные пленки формируются в процессе жизнедеятельности, а также при отмирании и разложении морских организмов. Установлено, что количество пленок биогенного происхождения существенно увеличивается при вспышках цветения фитопланктона. Именно потому процесс их интенсивного образования предлагается рассматривать как критерий резкого повышения биологической продуктивности, то есть в качестве показателя степени антропогенного воздействия на экосистему.

В соответствии с концепцией исследования за базовый критерий оценки экологического состояния акваторий принята биологическая продуктивность вод. В качестве показателей, характеризующих уровень биологической



**Рис. 1.** Концептуальная модель оценки экологического состояния акваторий.

комплекса экологически значимых факторов, влияющих на развитие биологических процессов в водной среде. К таким факторам отнесены: интенсивность освещенности, температура поверхности моря (ТПМ), скорость и направление приводного ветра, циркуляция водных масс, количество атмосферных осадков, степень мутности вод. В зависимости от особенностей акватории комплекс факторов может быть дополнен и уточнен.

### Система карт и ее обоснование

В соответствии с экологически значимыми факторами среды и принятыми критериями оценки экологического состояния акваторий разработана система карт, содержащая оптимальный спектр тематических сюжетов. В результате направленно-ориентированных детальных эколого-тематических исследований выделено две группы карт, составляющих основу методики картографической оценки состояния акваторий (рис. 2).

**Карты-критерии.** *Карты концентрации хлорофилла-а.* Показывают распределение текущих (осредненных за определенный период) значений концентрации хлорофилла-а. Осреднение ежедневных данных осуществлено путем расчета его медианных значений. Выбор именно этого алгоритма осреднения позволяет минимизировать вклад экстремальных значений

продуктивности, правомерно рассмотреть концентрацию хлорофилла-а – основного фотосинтезирующего пигмента, содержащегося во всех видах фитопланктона, и зоны пространственной локализации биогенных пленок на морской поверхности (рис. 1).

Важная задача при изучении механизмов функционирования водных экосистем – выявление

параметра, выявляя наиболее характерные для экосистемы. В связи с тем, что распределение концентрации хлорофилла-а подчинено логарифмически-нормальному закону, как способ отображения на карте выбрана логарифмическая шкала. Значения определены по спутниковым данным оптических сканеров цветности океана.

### Система карт для оценки экологического состояния акваторий



**Рис. 2.** Система эколого-географических карт акваторий.

*Карты аномалий концентрации хлорофилла-а.* Отражают распределение аномалий значений концентрации хлорофилла-а; позволяют установить, насколько текущее экологическое состояние характерно для акватории. Создание карт предполагает предварительное построение полей распределения значений концентрации хлорофилла, принимаемых за норму.

Определение нормы – сложная методологическая задача, подходы к решению которой диктуются учетом следующих особенностей акваторий:

- *Уникальность.* Любая экосистема уникальна по характеру географических условий и особенностям антропогенных воздействий на нее, а потому уровень продуктивности вод, принимаемый за норму, для разных акваторий является параметром, характеризующим конкретную экосистему.

- *Стадия развития.* Определенному состоянию (стадии развития) сообществ экосистемы соответствует определенный уровень биологической продуктивности. На начальных стадиях развития величины первичной продукции в несколько раз превышают величины процессов деструкции, а в зрелых сообществах наблюдается обратная картина.

- *Сезонная цикличность развития.* Значения концентрации хлорофилла-*a*, принимаемые за норму, должны определяться в зависимости от сезона года.

- *Пространственная неоднородность.* Значения концентрации хлорофилла-*a*, принимаемые за норму, различны даже в пределах одной акватории в зависимости от влияния ряда факторов (близость/удаленность от побережья, циркуляция водных масс и др.).

В соответствии с указанными особенностями представляется оптимальным принять за норму концентрации хлорофилла-*a* ее среднемесячные многолетние значения. Тогда аномалии концентрации хлорофилла-*a* оцениваются путем расчета отклонений текущих значений от среднемноголетних.

*Карты зон распространения биогенных пленок.* Отражают частоту пространственной локализации органических пленок биогенного происхождения на морской поверхности (за временной интервал, принятый для карт хлорофилла). Зоны распространения биогенных пленок показаны на карте способом количественного фона. Количество градаций шкалы соответствует частоте (количеству) проявлений пленок на поверхности моря. Выявление биогенных пленок осуществлено по радиолокационным данным.

*Карты интенсивности проявления биогенных пленок (индекс биогенных пленок).* Частота пространственной локализации пленок биогенного происхождения преобразована в индекс интенсивности покрытия морской поверхности биогенными пленками, рассчитанный для каждой одноградусной зоны акватории по предлагаемой нами формуле:  $I = S_{\text{пленки}} / S_{\text{зоны}} \times n$ , где:

$I$  – индекс биогенных пленок;

$S_{\text{пленки}}$  – площадь распространения пленок;

$S_{\text{зоны}}$  – площадь одноградусной зоны,  $1^\circ \times 1^\circ$  (привязка к регулярной сетке);

$n$  – частота (количество) проявлений биогенных пленок.

Полученный индекс ( $I$ ) преобразован в систему баллов условной бонитировочной шкалы. Степень благополучия акваторий передана на карте штриховкой в шкале баллов из шести градаций. Зоне с минимальным значением индекса ( $I$ ) присвоен балл, равный 1; с максимальным индексом – 5. Одноградусным зонам, где пленки не зафиксированы, присвоен балл, равный 0.

*Карты оценки экологического благополучия акваторий.* В содержании учтены аномалии концентрации хлорофилла-*a* и частота пространственной локализации биогенных пленок. Карты позволяют дифференцировать исследуемую акваторию по остроте экологического состояния и получить итоговую оценку путем анализа двух тематических сюжетов, построенных на основе двух типов спутниковых данных (оптических и радиолокационных).

*Карты-факторы.* Эта группа карт более многообразна и представлена сюжетами, соответствующими конкретным факторам среды. Карты-факторы составляют область аналитического картографирования, куда внесены научные представления о сущности, взаимосвязях и закономерностях происходящих в акваториях явлений и процессов. Карты обеспечивают справочно-фактологическую базу для анализа карт первой группы. Динамика явлений на картах-факторах выявляется путем создания их серий, фиксирующих определенные периоды или разные стадии изменений изучаемых процессов.

*Карты интенсивности освещенности.* Отражают распределение ежедневных значений фотосинтетически активной радиации (ФАР) – параметра, определяемого как общий поток фотонов света в диапазоне длин волн от 400 до 700 нм, проходящий через границу раздела океана и атмосферы (единица измерения – *Эйнштейн/м<sup>2</sup>/день*). Важно применить не мгновенные значения ФАР, регистрируемые в момент наблюдения, а количество излучения, интегрированное за сутки, так как уровень биологической продуктивности акваторий зависит не только от интенсивности ФАР, но определяется продолжительностью светового дня. Исходные данные для построения карт – спутниковые оптические данные видимого диапазона.

*Карты температуры поверхности моря.* Представляют картину распределения ежедневных значений ТПМ, полученных по спутниковым данным теплового инфракрасного диапазона.

*Карты приводного ветра.* Отражают ежедневные значения скорости и направления приводного ветра (10 м над морской поверхностью) по спутниковым скаттерометрическим данным.

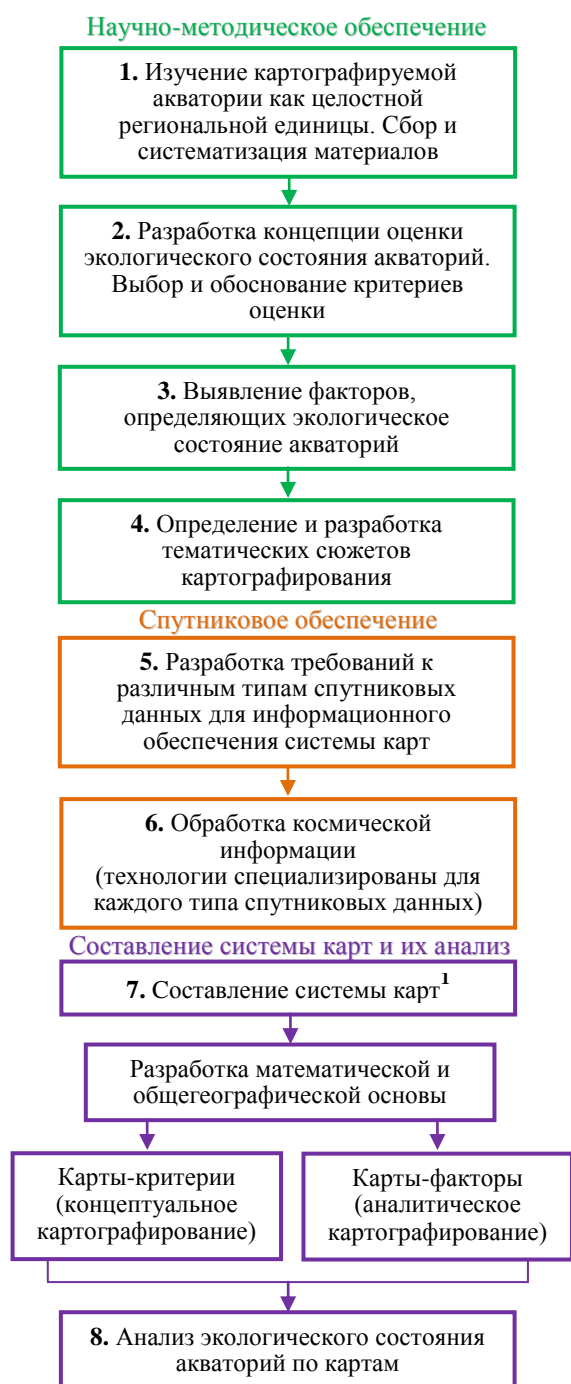
*Карты атмосферных осадков.* Показывают распределение ежедневных значений количества осадков в границах картографируемого водосборного бассейна. Карты построены на основе спутниковых данных теплового инфракрасного и микроволнового диапазонов.

*Карты мутности вод.* Показывают распределение ежедневных значений коэффициента диффузного ослабления – параметра, характеризующего степень проникновения солнечных лучей сине-голубой части спектра (490 нм) вглубь водных масс, которая обусловлена содержанием в воде рассеивающих частиц (единица измерения –  $m^{-1}$ ). В качестве исходной информации использованы спутниковые оптические данные видимого диапазона.

*Карты циркуляции водных масс.* Отражают особенности циркуляции водных масс: системы течений Мирового океана, вихревые образования, положения фронтальных зон и др. Карты построены на основе визуального дешифрирования оптических изображений, синтезированных в естественных цветах. Вспомогательной информацией служат карты приводного ветра и данные спутниковых альтиметров.

При проектировании карт акваторий и их серий самостоятельное значение приобретает разработка *математической* и *общегеографической основ*, которые имеют свою специфику, заключающуюся в рассмотрении процессов, происходящих не только в акватории, но и на прилегающей суше, для учета особенностей циркуляции водных масс и миграции потоков вещества и энергии. Большое значение имеет обеспечение сопоставимости масштаба карт и пространственного разрешения используемых космических изображений. Общегеографическая основа проектируется на базе общегеографических,

батиметрических и морских навигационных карт. Необходимые ее элементы – береговая линия; реки, озера и водохранилища; изобаты и изогипсы; населенные пункты; государственные границы; судоходные трассы. Эти объекты имеют принципиальное значение в экологических исследованиях, так как указывают на источники поступления в акваторию загрязняющих веществ,



в том числе биогенных элементов, определяющих степень антропогенного эвтрофирования. Общегеографическая основа используется для локализации специального содержания, а многие ее элементы сразу трансформируются в тематическое содержание. Наглядный пример – рельеф дна водоема, влияющий на развитие биологических процессов, особенно в шельфовой зоне.

### Глава 3. Методика картографической оценки экологического состояния акваторий

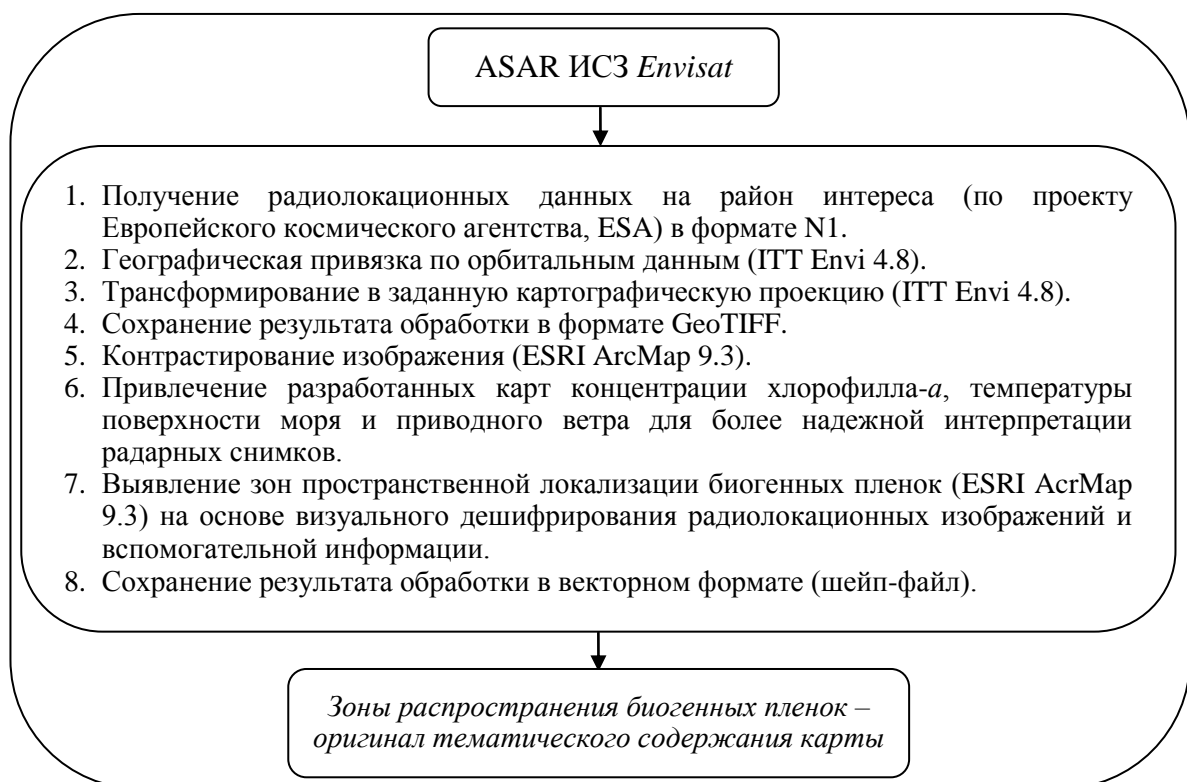
Методика основана на разработанной системе карт, интегрирующих в комплексную картографическую оценку доминанты (критерии и факторы) экологического состояния. Основными исходными материалами для составления карт являются космические данные различных диапазонов спектра – видимого, инфракрасного (ИК) и микроволнового (рис. 3).

**Рис. 3.** Методика картографической оценки экологического состояния акваторий с использованием спутниковых данных.

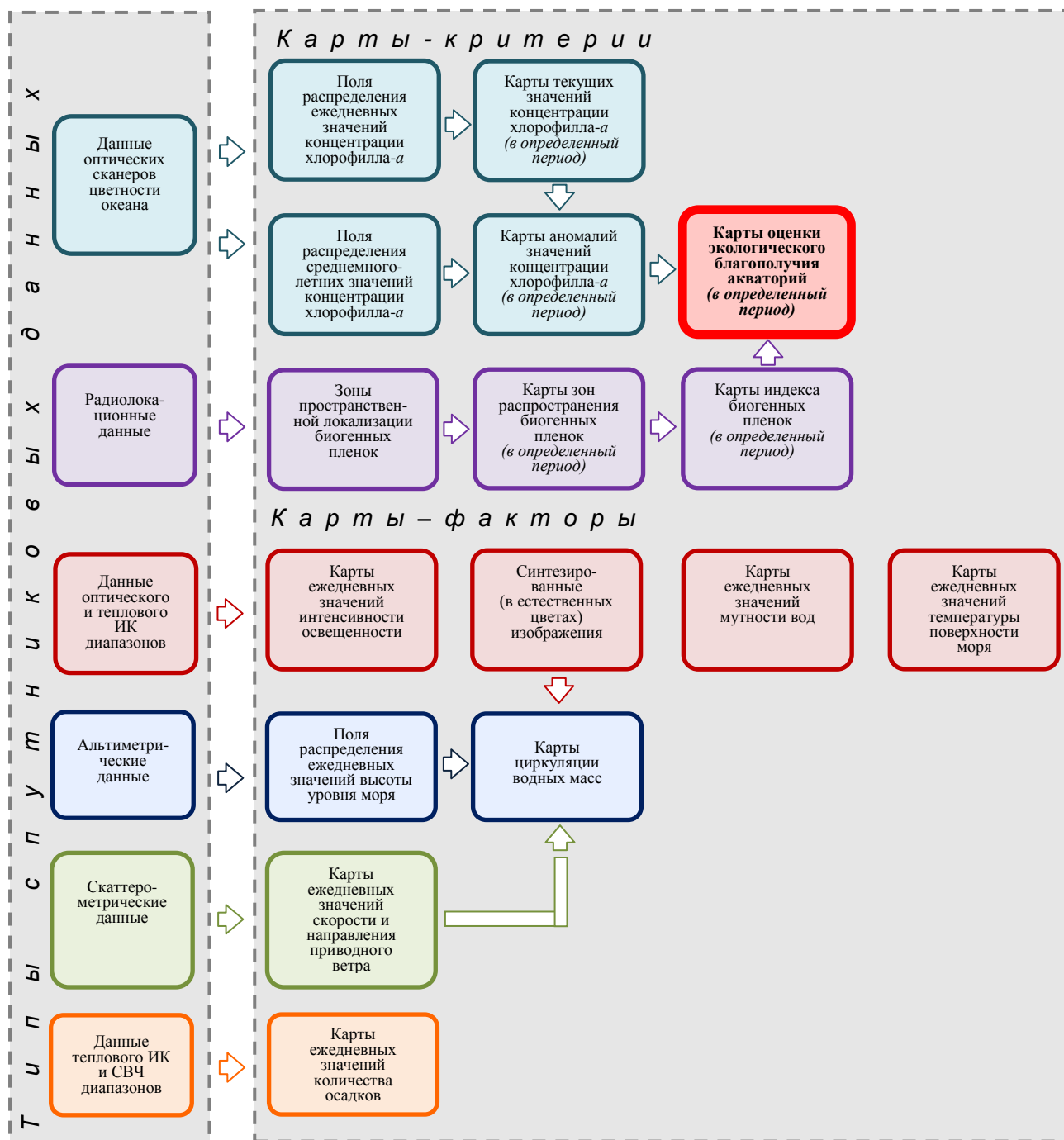
<sup>1</sup> См. отдельную схему – рис. 5 (стр. 18).



В общей последовательности этапов подчеркнем важность определения требований к спутниковым данным и выбору их типов для построения карт конкретных тем и назначения. В тексте диссертации подробно изложены требования, предъявляемые к каждому виду спутниковых данных, и рассмотрены физические основы определения характеристик водной среды, отраженных в темах карт. В ходе обработки спутниковых данных и составления серии карт применены программные средства: SeaDAS 6.4 – специализированный пакет для обработки данных, получаемых с оптических сканеров цветности океана, ИТТ Envi 4.8, ESRI ArcMap 9.3, а также Fortran-программы. Для каждого типа космической информации разработаны технологические схемы их обработки (всего 5 схем), представленные в тексте диссертации. На рис. 4 приведен пример схемы обработки радиолокационных данных ASAR ИСЗ *Envisat* для выявления зон пространственной локализации биогенных пленок. Спутниковые данные, используемые для построения карт серии, а также этапы их создания показаны на разработанной автором функциональной технологической схеме (рис. 5).



**Рис. 4.** Технологическая схема обработки данных ASAR ИСЗ *Envisat* для выявления зон пространственной локализации биогенных пленок.



**Рис. 5.** Типы спутниковых данных, обеспечивающие этапы составления карт конкретных тем и назначения.

На завершающем этапе методики выполняется сопряженный анализ карт серии с применением методов геоинформационного картографирования, обеспечивающих пространственное совмещение данных в необходимых комбинациях. Карты-критерии позволяют оценить степень благополучия (неблагополучия) экологического состояния акватории, а карты-факторы выступают в качестве сущностной аналитической основы для интерпретации карт-критериев и позволяют «вскрыть» причины фиксируемых аномалий.

## **Глава 4. Теоретико-экспериментальные исследования (российский сектор Черного моря)**

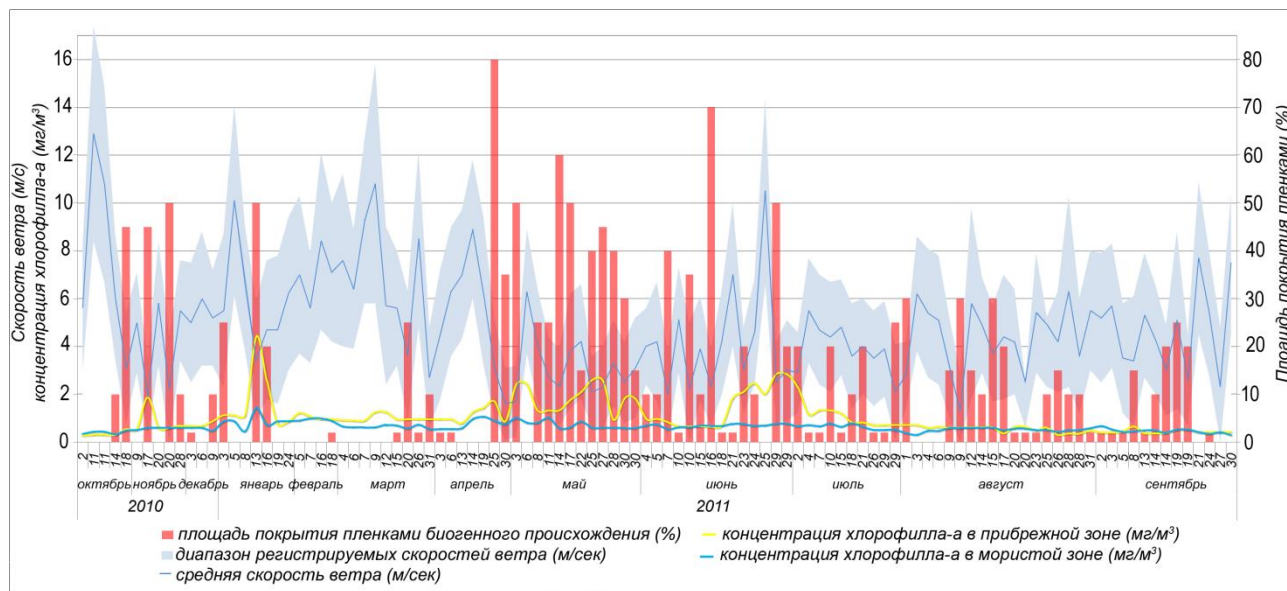
В качестве экспериментального полигона для апробации разработанной методики выбран российский сектор Черного моря. В тексте диссертации приведена подробная географическая характеристика региона.

Проанализировано более 100 радиолокационных изображений (РЛИ) восточной части Черного моря в период с октября 2010 г. по сентябрь 2011 г., полученных с помощью радиолокатора бокового обзора с синтезированной апертурой ASAR, который установлен на спутнике *Envisat*. РЛИ получены в режиме широкополосной съемки (Wide Swath Mode) с пространственным разрешением 150 м и шириной полосы обзора 400 км. РЛИ использованы также для определения скорости приводного ветра по полю снимка путем преобразования яркости пикселей изображения в поле ветра с помощью скаттерометрической модели CMOD5 в программе ESA NEST 4B.

На даты получения РЛИ по данным спектрорадиометра MODIS, установленного на спутнике *Aqua* (пространственное разрешение 1000 м) в программе ИТТ ENVI 4.8 построены поля распределения значений концентрации хлорофилла-*a* и температуры поверхности моря.

Проведенный эксперимент позволил установить особенности сезонного распределения пленок биогенного происхождения и временную связь между их образованием и повышением биологической продуктивности. Для этого предложен многопараметрический корреляционный график (рис. 6), показывающий зависимость между экологически значимыми для изучения антропогенного эвтрофирования параметрами: площадью покрытия морской поверхности пленками биогенного происхождения; диапазоном регистрируемых скоростей приводного ветра; значениями концентрации хлорофилла-*a* в прибрежной и мористой зонах акватории. График и принципы его построения имеют как самостоятельное для конкретной акватории, так и общее научно-методическое значение для интерпретации РЛИ. Достоинство и эффективность его использования заключаются в том, что все анализируемые

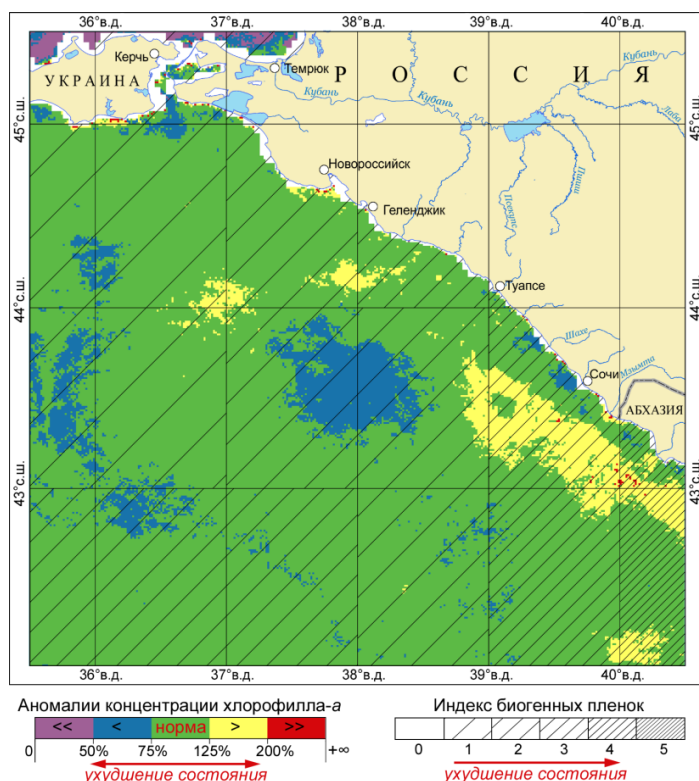
параметры (факторы) представлены в единой (по вертикали) системе измерения. График позволяет «снять» конкретные значения любого параметра на конкретный день месяца и метрически обеспечить комплексный анализ сезонной динамики биогенных пленок для оценки экологического состояния исследуемых районов акватории.



**Рис. 6.** Многопараметрический корреляционный график, показывающий зависимость между площадью покрытия морской поверхности пленками биогенного происхождения, скоростями приводного ветра и концентрациями хлорофилла-а.

В качестве экспериментального временного интервала для картографирования и оценки состояния региона выбран май 2011 г., так как именно в этом месяце фиксировалось наиболее интенсивное проявление пленок биогенного происхождения. На тестовую акваторию составлено 11 типов карт (5 типов карт-критериев и 6 типов карт-факторов) масштаба 1:3 000 000. Карта атмосферных осадков, которая включает часть водосборного бассейна, составлена в масштабе 1:5 000 000.

В результате проведенного анализа карт установлены причинно-следственные связи и пространственно-временные корреляции анализируемых явлений. Показаны районы локализации наименее благополучных экологических ситуаций и причины их образования. Экспериментальные исследования подтвердили состоятельность выбранной концепции.



**Рис. 7.** Оценка экологического благополучия (российский сектор Черного моря, май 2011 г.).

Итоговая карта оценки экологического благополучия российского сектора Черного моря представлена на рис. 7 (масштаб карты уменьшен ~ до 1:7 000 000). Экологическая интерпретация, выводы, а также примеры каждого типа разработанных карт подробно изложены и проиллюстрированы в диссертации.

## Заключение

В ходе теоретических исследований и экспериментальных работ решена главная задача диссертации – разработана методика картографической оценки экологического состояния акваторий. Основные результаты диссертационных исследований состоят в следующем:

1. Выполнен обзор существующих подходов к оценке экологического состояния природных систем суши и акваторий.
2. Разработана концептуальная модель оценки экологического состояния акваторий, в основу которой положен принцип биоиндикации, отличающийся высокой степенью надежности. Установлены критерии оценки и экологически значимые факторы среды.
3. Предложена система карт для оценки экологического состояния акваторий. Карты позволяют выявить сезонную, месячную, декадную и даже суточную динамику анализируемых характеристик водной среды – одной из наиболее динамичных систем природы. Достоинством карт является их оперативность, обеспечиваемая применением спутниковых данных.

4. Выявлен информационный потенциал спутниковых данных для оперативного экологического картографирования акваторий.

5. Исследованы особенности сезонного распределения малоизученных в экологическом аспекте биогенных пленок и временная связь между их образованием и повышением биологической продуктивности.

6. Определены требования к различным типам спутниковых данных для построения карт; предложено 5 технологических схем их обработки.

7. Разработан многопараметрический корреляционный график, показывающий зависимость между факторами, экологически значимыми для изучения антропогенного эвтрофирования акваторий. График и принципы его построения имеют как самостоятельное для конкретной акватории, так и общее научно-методическое значение.

8. Проведены экспериментальные исследования, в процессе которых составлено 11 типов карт на российский сектор Черного моря, позволивших дифференцировать акваторию по степени экологического благополучия и получить итоговую оценку состояния экосистемы.

Исследования, проведенные автором, имеют значение для развития общей теории экологического картографирования и методов использования спутниковой информации в геоэкологии.

#### **Публикации по теме диссертации:**

1. Исследование зон экологического неблагополучия акваторий по радиолокационным данным // Геодезия и картография. – 2012. – № 1. – С. 47–52 (соавт. Т.В. Верещака).

2. Оценка экологического состояния природных систем суши и акваторий // Изв. ВУЗов: Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 2. – С. 51–60 (соавт. Т.В. Верещака).

3. Разработка системы карт для оценки экологического состояния морских акваторий // Материалы конференции «Использование средств и ресурсов единой государственной системы информации об обстановке в Мировом океане для информационного обеспечения морской деятельности в Российской

Федерации» (ЕСИМО'2012), 24–28 сентября 2012 г., Обнинск. – Обнинск: ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 2012. – С. 26–29.

4. Оценка экологического состояния акваторий (основная концепция) // Сборник статей по итогам научно-технических конференций / Приложение к журналу Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2011. – № 6. – Вып. 4. – С. 3–4 (соавт. Т.В. Верещака).

5. Использование данных спутникового мониторинга для изучения гидрометеорологической и экологической обстановки на шельфе северо-восточной части Каспийского моря // Геоматика. – 2011. – № 1. – С. 15–22 (соавт. В.В. Асмус, В.А. Кровотынцев и др.).

6. Комплексные исследования нефтяных проявлений в восточной части Черного моря на основе спутниковых и судовых измерений // В сб.: Тезисы докладов VIII международной конференции «Геленджик-2011: Актуальные проблемы развития ТЭК регионов России и пути их решения», 6–8 июня 2011 г., Геленджик. – С. 8–12 (соавт. В.В. Асмус, В.В. Затыгалова и др.).

7. Дешифрирование радиолокационных изображений морской поверхности с использованием результатов синхронного диагноза метеорологических условий по информации Meteosat-9 // В сб.: Тезисы докладов восьмой открытой всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», 15–19 ноября 2010 г., Москва, – С. 187 (соавт. М.В. Бухаров, В.А. Кровотынцев).

8. Системы формирования и анализа многолетних рядов региональных климатически значимых параметров по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 1.– М.: ООО «ДоМира», 2010. – С. 51–60 (соавт. А.М. Алферов, М.В. Бухаров).

9. Методические подходы к оценке экологического состояния природных систем (обзор исследования) / Андреева З.В.; МИИГАиК. – М., 2009. – 40 с.: – Библиогр.: 95 назв. – Рус. – Деп. в ОНТИ ЦНИИГАиК. №893-гд. – Деп. 2009.