

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ АКВАТОРИЙ ВОЕННО-МОРСКИХ БАЗ НА ОСНОВЕ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

А. Е. Семенов, Д. В. Жуков, В. Ф. Мочалов, О. В. Григорьева (Санкт-Петербург)

В настоящее время наблюдается стремительное развитие научно-технического прогресса и, как следствие, расширение масштабов влияния антропогенной деятельности на природную среду. Вместе с тем темпы роста качества социальной и экономической составляющей жизни общества вступают в противоречие с ограниченными возможностями окружающей среды. При этом деградация природных экосистем приводит к угасанию ее живых (биотических) компонентов и условий жизнеобеспечения и жизнеобитания. В 2012 г. президентом Российской Федерации (РФ) были утверждены «Основы государственной политики в области экологического развития РФ на период до 2030 года», в которых стратегическая цель определялась как решение широкого круга задач, одной из которых является обеспечения экологической безопасности. Согласно указу президента РФ от 19.04.2017 № 176 «О стратегии экологической безопасности РФ на период до 2025 года» одним из основных механизмов реализации государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности является повышение эффективности производственного контроля в области охраны окружающей среды, в том числе и в зонах ответственности Вооруженных Сил.

Вместе с тем наиболее сложной является задача организации эффективного производственного экологического контроля за загрязнениями окружающей среды на таких, например, объектах как акватории военно-морских баз (ВМБ), поскольку как правило они характеризуются большой площадью и многие из них труднодоступны для большинства контактных средств экологического мониторинга, имеющих в распоряжении органов экологической безопасности флотов. Основная проблема использования традиционных средств заключается в том, что они не обеспечивают оперативное получение достоверной информации об экологическом состоянии акваторий, т.к. измерения качества воды носят локальный характер. Решить эту проблему можно с помощью применения технологий дистанционного зондирования земли. За счет того, что современные авиационные и космические средства наблюдения оснащаются оптикоэлектронной аппаратурой, обладающей достаточно широким углом поля зрения они позволяют уменьшить продолжительность экологического обследования. Вместе с тем, наряду с сокращением временных затрат на получение необходимой для оценивания экологической обстановки информации, также требуется оперативная ее обработка. Этого можно достичь только с помощью высокой степени автоматизации процесса дешифрирования материалов съемки.

В Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского совместно со СПИИРАН осуществляются инициативные исследования, направленные на практическую разработку интеллектуальной системы [1], основанной на использовании алгоритмов автоматизированной идентификации по материалам много- и гиперспектральной аэрокосмической съемки. Рассматриваются следующие виды загрязнений акваторий ВМБ: пленки нефтепродуктов (НП) на водной поверхности и внутримассовое загрязнение воды минеральными взвешьями. Алгоритмы основаны на анализе спектральных характеристик объектов интереса и сопутствующих фонов [2,3]. Важной отличительной особенностью при этом является то, что в качестве исходных данных оператору интеллектуальной системы на начальном этапе ее эксплуатации необходимо указать только границы зоны интереса, включающей оцениваемый район акватории и

участок условно чистой воды. Дальнейшая обработка материалов съёмки производится в полностью автоматическом режиме.

Интеллектуальная система основана на классическом варианте сервис ориентированной архитектуры (COA), при котором реализуется подход на базе модульного построения, обеспечивающий использование заменяемых распределенных компонентов, взаимодействующих по стандартным протоколам через телекоммуникационные сети.

Такая архитектура позволяет на уровне управления сервисной шиной конфигурировать информационные ресурсы, необходимые для решения конкретных задач в интересах оценивания экологической обстановки и обеспечения экологической безопасности. При этом обеспечивается взаимодействие интеллектуальной системы с поставщиками данных от космических аппаратов, а также с информационно-аналитическими системами органов управления для взаимного обмена данными и результатами решения задач поддержки управленческой деятельности. Организуется взаимодействие по передаче данные в согласованном формате, при отсутствии каких-либо требований к внутренней структуре модулей. Таким образом, использование сервисов позволяет обеспечивать логическое разделение на модули за счёт явного физического разделения по аппаратным серверам. Благодаря этому становится возможным использование разных языков программирования, инструментов взаимодействия, мониторинга и хранения данных, что позволяет оптимизировать инфраструктуру путём подбора лучшего программно-аппаратного решения для конкретного сервиса.

Общая архитектура разрабатываемой интеллектуальной системы на базе COA представлена на рис. 1.



Рис. 1. Архитектура интеллектуальной системы

В соответствии с принципами сервис-ориентированной архитектуры, обмен сообщениями между различными системами происходит через единую точку, обеспечивающую транзакционный контроль, преобразование данных, аудит сообщений. При изменении какого-либо модуля, подключённого к сервисной шине, нет необходимости в перенастройке остальных компонентов системы.

По ее завершении формируются соответствующие векторные слои цифровой карты местности. Обработка многоспектральных данных (минимум 4 канала в видимом и ближнем инфракрасном (ИК) диапазонах спектра) позволяет идентифицировать в автоматизированном режиме мощные пленки НП толщиной более 50 мкм и определить участки акватории, подозреваемые на наличие загрязнений. Использование гиперспектральных данных обеспечивает выявление загрязненных участков акватории, классификацию пленок НП на 5 классов по толщине согласно требованиям нормативных документов, оценку удельной массы мощных пятен НП, определение концентрации взвешенных веществ [2].

Алгоритм был успешно апробирован на акваториях Черного, Балтийского и Баренцева морей. Устойчивость результатов идентификации загрязнений объясняется физическим обоснованием используемых спектральных признаков. При разработке учитывались такие эффекты, как:

- интенсивное поглощение водой солнечного излучения в красном и ближнем инфракрасном диапазонах спектра, обеспечивающее определение границ водной поверхности,

- флуоресценция пленок НП в фиолетовом и зеленом диапазонах спектра,

- диффузное отражение светового потока от мощных НП в ближнем ИК диапазоне,

- наличие полос поглощения у хлорофилла в синем и красном участках спектра, обеспечивающее селекцию тонких пленок НП от их ложных целей – зон развития фитопланктона,

- рассеяние светового потока на частицах взвеси, проявляющееся в зеленом и красном интервале спектра,

- переотражение светового потока от дна на мелководных участках акватории и последующее его ослабление в толще воды, что позволяет осуществить селекцию зон мелководья от участков загрязнения минеральными взвесями.

Это позволило свести ошибки идентификации к минимуму. Было установлено что достоверность выделения класса, в зависимости от типа загрязнения, не опускается ниже 90%.

Вместе с тем информации только о местоположении, площади и типе загрязнения, как правило, недостаточно природоохранным органам для принятия решений о срочности и приоритетности мероприятий по ликвидации выявленных негативных воздействий. Большой практический интерес для них представляют количественные, главным образом экономические, показатели нанесенного вреда. Анализ нормативных документов показал, что для оценивания эколого-экономического ущерба водным объектам после применения алгоритма идентификации загрязнений акваторий ВМБ неизвестной остается глубина распространений взвешенных веществ. Для определения этого показателя было принято допущение о равномерном распределении взвеси по всей глубине загрязненного участка водного объекта. Это позволило применить разработанный исполнителями работ алгоритм обработки много- и гиперспектральных данных, позволяющий на основе информации об отражательной способности водной поверхности и дна оценивать глубины прибрежных акваторий, основанный на использовании известной модели переноса светового потока в водной среде [4].

Два алгоритма в совокупности позволяют создать интеллектуальную систему обработки много- и гиперспектральных изображений и получить необходимые исходные данные для расчета вреда, нанесенного водному объекту. Примеры работы программного обеспечения в основу которого лег описанный научно-методический аппарат представлены на рисунках 2 и 3. Наиболее важными преимуществами такого

подхода являются возможность получения оценок ущерба по данным дистанционного зондирования, обеспечивающим охват обширных акваторий, и практически полная автоматизация процесса обработки. Для оценивания экологической обстановки в интеллектуальную систему требуется дополнительно введение справочной информации о бассейновой принадлежности водного объекта и установленных для него значениях фоновой и предельно допустимой концентраций вредных веществ. Все остальные показатели определяются автоматически.

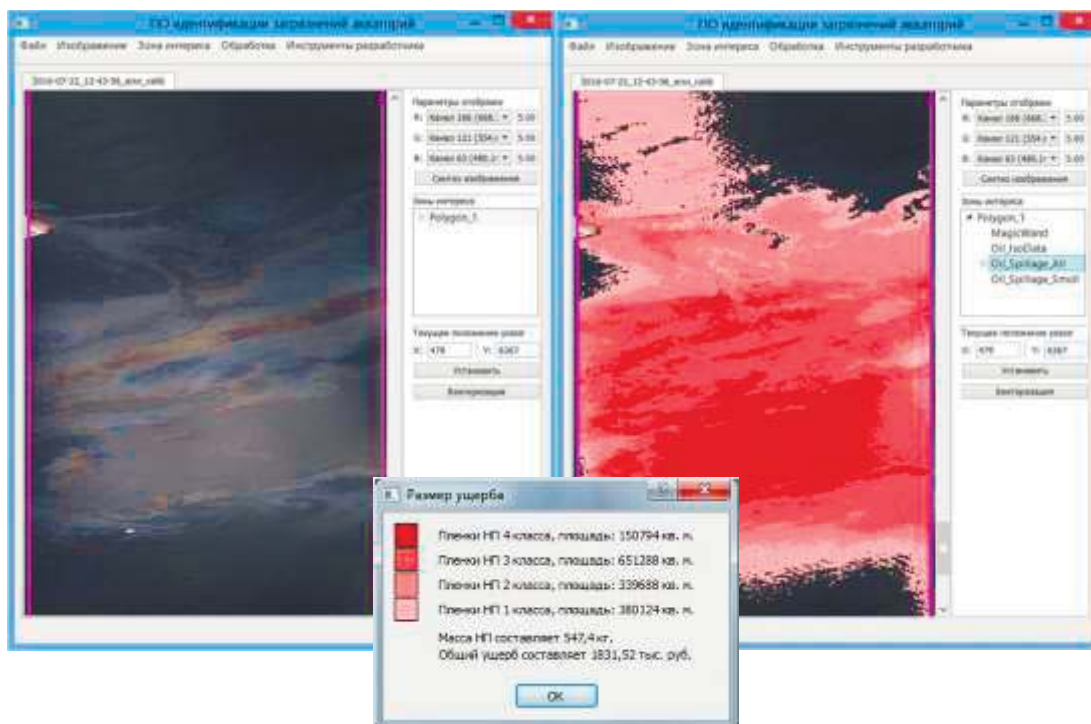


Рис. 2. Пример идентификации и оценки ущерба от загрязнений акватории пленками НП

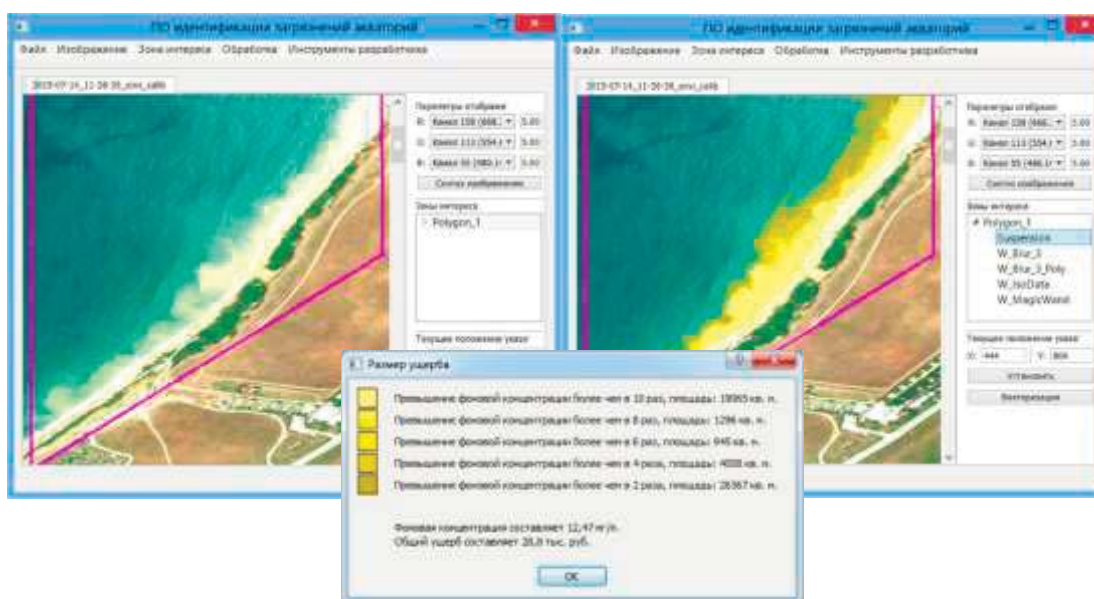


Рис. 3. Пример идентификации и оценки ущерба от загрязнений акватории минеральными взвешенными веществами

Результаты практического применения программного обеспечения, созданного на базе описанных алгоритмов позволяют сделать вывод, что подобной интеллектуальной системой целесообразно оснастить органы экологической безопасности флотов, которые смогли бы при ее наличии только с помощью космических отечественных гиперспектральных средств наблюдения осуществлять обзорный экологический контроль всех акваторий ВМБ как минимум один раз в месяц, а с помощью соответствующих авиационных комплексов получать оперативную детальную информацию об экологической обстановке на интересующем участке акватории. При этом, за счет высокой степени автоматизации процесса дешифрирования, временные затраты на обработку данных не превысят 3-4 часов, а анализ космических данных займет меньше минуты. От оператора не потребуются специализированных знаний по распознаванию образов и навыков дешифровщика материалов аэрокосмосъемки. Также будет сведена к минимуму возможность ошибки оператора при тематической обработке снимков, что показывает высокая достоверность полученных результатов. Таким образом будет решена важная государственная задача по повышению эффективности производственного экологического контроля на акваториях ВМБ.

### Литература

1. **Zelentsov V., Potryasaev S., Pimanov I., Mochalov V.** Intellectual information platform for thematic services creation with integrated use of ERS and in-situ data // Proceedings of the International conference “Quo vaditis agriculture, forestry and society under global change?”, 02-04 October 2017, Velké Karlovice, Czech Republic, pp. 81-85.
2. **Жуков Д.В.** Спектральные признаки для идентификации типовых загрязнений акваторий морей по данным авиационной и космической съемки. // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. № 07. С. 560-565.
3. **Жуков Д.В., Григорьева О.В., Марков А.В., Саидов А.Г.** Программа оценки уровня загрязнения акваторий морских портов по материалам много- и гиперспектральной съемки в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013618799, рег. 18.09.2013.
4. **Григорьева О.В., Жуков Д.В., Марков А.В., Мочалов В.Ф.** Восстановление глубин прибрежных акваторий по данным много- и гиперспектральной съемки. // Оптика атмосферы и океана. 2016. Т. 29. №7. С.553-559.