

А. В. Марков

(ВКА им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

В 1991 г. окончил Военный инженерно-космический институт имени А. Ф. Можайского по специальности «оптико-электронные средства». В настоящее время — начальник управления Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. Кандидат технических наук.

А. Г. Саидов

(ВКА им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

В 2007 г. окончил Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения по специальности «инженерная защита окружающей среды». В настоящее время — научный сотрудник Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского.

В. Ф. Мочалов

(ВКА им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

В 1981 г. окончил Военный инженерно-космический институт имени А. Ф. Можайского по специальности «системы управления летательных аппаратов». В настоящее время — старший научный сотрудник Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского.

О. В. Григорьева

(ВКА им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

В 2004 г. окончила Санкт-Петербургский государственный университет путей сообщения по специальности «инженерная защита окружающей среды». В настоящее время — старший научный сотрудник Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. Кандидат технических наук.

Д. В. Жуков

(ВКА им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург)

В 2007 г. окончил Балтийский государственный технический университет по специальности «инженерная защита окружающей среды». В настоящее время — научный сотрудник Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского.

Оценка экологического состояния акватории морского порта Санкт-Петербурга с помощью программного комплекса тематической обработки материалов аэрокосмической съемки*

В настоящее время материалы аэрокосмической съемки находят широкое применение при решении различных практических задач. При этом существует целый ряд прикладных программ, обеспечивающих тематическую обработку данных дистанционного зондирования и представление результатов обработки с помощью геоинформационных технологий. Однако адаптация или настрой-

ка прикладного программного обеспечения на решение конкретной практической задачи с учетом индивидуальных особенностей (спектрального диапазона, пространственного и радиометрического разрешения и т. д.) материалов съемки требует во многих случаях достаточно высокой степени профессиональной подготовки специалистов, привлекаемых к процессу обработки.

*Статья подготовлена по результатам выполненного проекта — победителя конкурса «Лучшие проекты в области ГИС-технологий и ДЗЗ» в номинации «Лучший региональный инновационный проект с использованием космических данных ДЗЗ» в рамках Международного Форума «Интеграция геопространства — будущее информационных технологий» (17–19 апреля 2013 г.).

В связи с этим в Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского разработан специализированный программный комплекс автоматизированной тематической обработки материалов аэрокосмической съемки. Комплекс прошел апробацию в ходе выполнения пилотного регионального проекта, одной из целей которого являлась оценка экологического состояния акватории и территории морского порта Санкт-Петербурга на основе специально разработанных методологических подходов к идентификации участков, подверженных антропогенному воздействию, определению количественных оценок выявленных нарушений и анализу причин их возникновения.

При создании данного проекта в качестве исходных данных использовались материалы аэросъемки и результаты тестовых наземных измерений. Аэросъемка проводилась с помощью гиперспектральной аппаратуры «Фрегат», которая входит в состав бортового аэросъемочного комплекса. Комплекс также оснащен аппаратурой, обеспечивающей сбор данных в видимом, ближнем инфракрасном, инфракрасном и радиолокационном диапазонах спектра. Обработка материалов съемки с высоким спектральным разрешением позволила сегментировать объекты по физико-химическим свойствам и выбрать участки спектра, имеющие наибольшее индикаторное значение в решении задачи классификации акваторий по интенсивности загрязнения разнородными веществами [1].

Большое внимание при реализации проекта уделялось вопросу автоматизации процессов идентификации и классификации участков загрязнения акватории нефтяными пленками и минеральными крупнодисперсными взвесями по данным гиперспектральной съемки. Для обработки материалов съемки и реализации разработанных методик использовался специализированный программный комплекс [2]. В состав программного комплекса входят интерактивные модули анализа и представления результатов автоматизированной обработки.

Идентификация участков антропогенного воздействия объектов инфраструктуры морского порта на акваторию Невской губы и прилегающую территорию осуществлялась по материалам съемки, проведенной в августе 2011 г. Для калибровки и верификации результатов обработки проводились тестовые наземные (судовые) измерения.

Особое внимание уделялось идентификации фактов антропогенного воздействия в районах интенсивного загрязнения акватории минеральными и органическими примесями, нефтью и нефтепродуктами. Причинами неблагоприятного воздействия могут быть аварии, несанкционированные

поступления неочищенных стоков с наземных объектов, сбросы льяльных вод с судов в прибрежной зоне, несоблюдение правил складирования грузов.

Методика обработки материалов съемки включала в себя анализ особенностей спектрально-энергетических характеристик этих объектов и фона, полуаналитические подходы восстановления содержания биологических и химических компонентов на основе известных и вновь полученных соотношений между гидрооптическими показателями и актинометрическими характеристиками вод [3]. Далее обеспечивалась автоматизированное обнаружение и оконтуривание участков приповерхностного загрязнения акватории нефтью или нефтепродуктами, а также внутримассового загрязнения взвешенными органоминеральными веществами с концентрацией более 20 мг/л площадью не менее 50 кв. м (рис. 1).

Степень антропогенного воздействия объектов морского порта на экологическое благополучие района оценивалась на основе количественных показателей, характеризующих выявленные нарушения природопользования, а также степень загрязнения акватории и прилегающих территорий с учетом фоновых источников загрязнения. В свою очередь, при расчете степени приповерхностного загрязнения нефтью и нефтепродуктами учитывались показатели ориентировочной толщины пленки, ее интенсивность, густота и площадь относительно общей площади порта. А при оценке уровня загрязнения взвесями определялись ориентировочные значения их внутримассовых концентраций. Дополнительно количественно оценивались факты несанкционированного сброса льяльных вод с судов (рис. 2), а по косвенным признакам, к которым относятся участки развития фитопланктона, анализировалось содержание в водной среде сильнотоксичных веществ.

Оценка акватории проводилась по бассейнам и гаваням, в пределах каждой из которых рассчитывалась степень загрязнения минеральными и органическими примесями по следующей формуле:

$$B = \left(\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ндк}} S_i \right) / S_{об}$$

где:

B — показатель оценки качества воды;

C_i — ориентировочная концентрация загрязняющего вещества i -го участка акватории гавани (или бассейна), мг/л;

$C_{ндк}$ — предельно допустимая концентрация

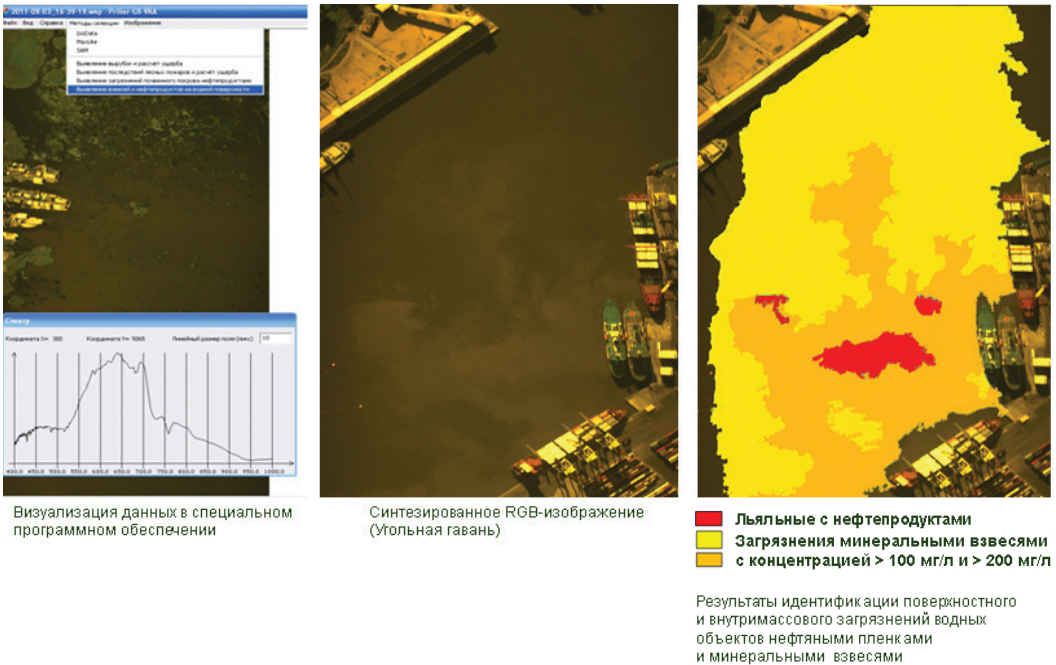


Рис. 1. Результаты автоматизированной идентификации участков антропогенного воздействия объектов инфраструктуры морского порта Санкт-Петербурга на акваторию Невской губы

загрязняющего вещества, для грубодисперсных взвешенных веществ — 20 мг/л;

S_i — площадь i -го участка акватории гавани (или бассейна) с концентрацией C_i , кв. м;

$S_{об}$ — общая площадь гавани (или бассейна), кв. м.

При $B \leq 0,2$ воду для акватории морского порта можно считать очень чистой относительно грубодисперсных взвесей, нефтяных пленок и биогенных веществ (при условии, если два последних не были обнаружены), при $0,2 < B \leq 1,0$ — чистой, при $1,0 < B \leq 2,0$ — умеренно загрязненной, при $2,0 < B < 4,0$ — загрязненной, при $4,0 < B \leq 6,0$ — грязной, при $6,0 < B \leq 10,0$ — очень грязной, при $B \geq 10,0$ — чрезвычайно грязной.

Обработка данных съемки с помощью биоптического алгоритма показала, что участки развития фитопланктона в форме хлорофилла «а» в акватории морского порта практически отсутствуют — менее 2 мкг/л, поэтому показатель трофности акватории в оценке степени загрязнения не учитывался.

В целом классификация участков акватории по степени загрязнения предусматривала как минимум три уровня оценки: чистая; умеренно

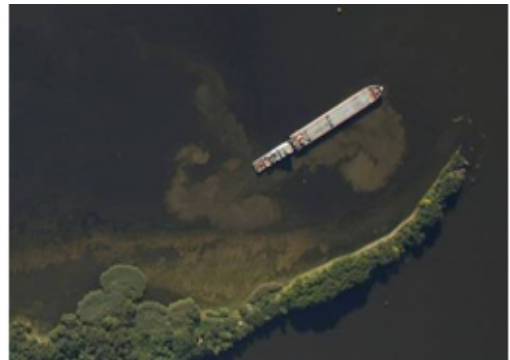


Рис. 2. Сброс льяльных вод с судна на входе в морской канал

загрязненная; загрязненная и грязная или очень грязная. Результаты оценки для основных бассейнов и гаваней порта Санкт-Петербурга приведены в таблице. К наиболее экологически неблагоприятным участкам акватории относятся Угольная и Большая Турухтанная гавани, что связано с их

Наименование района акватории	Максимальный диапазон концентраций грубодисперсных взвешенных веществ C_i , мг/л	Степень загрязнения грубодисперсными взвешенными веществами, доли ПДК	Количество выявленных фактов сброса льяльных вод за период съемки	Оценка степени загрязнения участков акватории, баллы
Угольная гавань	200...250	10–12,5	2	11,4 (чрезвычайно грязная)
Лесная гавань	60...150	3–7,5	—	6,5 (очень грязная)
Большая Туруханная гавань	100...200	5–10	—	10,5 (чрезвычайно грязная)
Новая гавань	30...60	1,5–3	1	1,7 (умеренно загрязненная)
Морской канал	До 80 за счет рассеивания	4	1	2,2 (загрязненная)
Угольная гавань	80...90	4–4,5	—	4,6 (грязная)
Большой бассейн	170...200	8,5–10	—	7 (очень грязная)
Восточный бассейн	50...80	2,5–4	1	3,4 (загрязненная)
Гутуевский ковш	40...70	2–3,5	—	2,6 (загрязненная)
Восточный бассейн	40...80	2–4	—	3 (загрязненная)

Табл. Оценка степени загрязнения крупных бассейнов и гаваней морского порта Санкт-Петербурга

наибольшей нагрузкой по перевалке навалочных, насыпных и наливных грузов (минеральных удобрений, угля, руды, глинозема, бокситов, калийных удобрений, металллолома, нефтеналивных грузов), по обработке паромов с автотехникой.

Результаты обработки данных авиационных наблюдений и оценки экологической обстановки в акватории порта подтверждены в ходе проверок, проводимых Управлением морского контроля, разрешительной деятельности и особо охраняемых природных территорий Росприроднадзора. По итогам проведенных проверок также были отмечены увеличение концентрации углеводородов в поверхностном слое и придонной воде по сравнению с пробами 2010 г., загрязнение поверхности акватории льяльными водами и высокая концентрация взвесей.

Следует отметить, что негативное влияние объектов инфраструктуры морского порта на экологическое благополучие Невской губы является не единственным. Серьезный вред наносят и объекты городской инфраструктуры. За пределами порта фиксируются обширные зоны развития сине-зеленых водорослей на мелководных участках в районе очистных сооружений. Развитие водорослей свидетельствует о сильном эвтрофировании

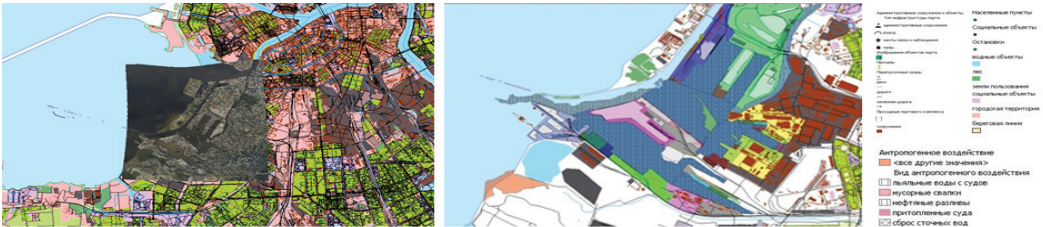
исследуемой зоны вследствие поступления недостаточно биологически очищенных стоков. Фоновым источником загрязнения также является вынос загрязненных вод из реки Красненькая. В прибрежной зоне реки размещено большое количество промышленных предприятий и заводских территорий, имеющих выпуски сточных вод в реку (рис. 3). Дополнительное негативное влияние оказывает вынос загрязненных вод рек Фонтанка и Большая Нева. Вклад в загрязнение исследуемой акватории от речных вод, по нашему мнению, не меньше, чем от объектов порта. Концентрация загрязнителей речных вод превышает 250...300 мг/л, особенно в шлейфе выноса реки Красненькая. Шлейф от выноса загрязненных вод распространяется вдоль восточного побережья Невской губы.

С помощью интерактивных модулей анализа и представления результатов автоматизированной обработки контуры выявленных нарушений были конвертированы в ГИС-проект актуального состояния морского порта, содержащий набор тематических слоев (рис. 4).

При этом информация об участках загрязнения и уровне их воздействия автоматически заносится в пространственную базу геоданных.



Рис. 3. Фоновые источники загрязнения: вынос взвешенных веществ в районе устья реки Красеньякая (слева); район интенсивного развития сине-зеленых водорослей за пределами порта в районе очистных сооружений (справа)



Визуализация дистанционной информации о порте в ГИС

Результаты конвертации автоматизированной регистрации загрязнений в ГИС

Рис. 4. Фрагмент ГИС-проекта актуального состояния морского порта на основе автоматизированной обработки данных аэрокосмической съемки

Кроме этого, в базе характеристического описания выявленных негативных воздействий с помощью дополнительного модуля анализа рассчитывается оценка причиненного эколого-экономического ущерба в соответствии с действующим законодательством, а также отражаются рекомендации по ликвидации выявленных нарушений природопользования и планирования мероприятий по предупреждению возможных отрицательных последствий для морской среды.

Таким образом, разработанный программный комплекс может использоваться для формирования информационной базы данных в интересах административных и природоохранных структур Санкт-Петербурга. Создается информационная основа для принятия обоснованных управленческих решений по нормализации экологической ситуации в порту и обеспечению экологической безопасности прибрежных районов города. Плановая работа по организации информационного обеспечения в интересах экологической безопасности повысит эффективность природоохранных мероприятий, снизит риски возникновения неблагоприятных условий.

Апробация программного комплекса на практическом примере показала, что в настоящее время много- и гиперспектральная аэросъемка может быть эффективно использована для выявления нарушений со стороны участников

водопользования. При этом в качестве исходных данных могут быть использованы материалы космической мультиспектральной съемки сверхвысокого пространственного разрешения, например с космического аппарата WorldView-2.

Рассмотренные программный комплекс и методики тематической обработки материалов аэрокосмической съемки могут применяться при решении широкого круга актуальных практических задач.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марков А. В. Проблемы развития видеоспектральной аэросъемки / А. В. Марков, Б. В. Шилин // *Оптический журнал*. — Т.76. — 2009. — №2. — С. 20–27.
2. Григорьева О. В. Опыт оценки экологических характеристик акваторий морских портов по данным видеоспектральной аэросъемки / О. В. Григорьева, Б. В. Шилин. — М.: ООО «ДоМира», 2012 — Том 9. 1.: *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Сборник научных статей*. — 2012 — С. 156–166
3. Марков А. В. Автоматизированные методы оценки состояния окружающей среды по данным мультиспектральной и гиперспектральной космической съемки / А.В. Марков, О. В. Григорьева, О. В. Бровкина, В. Ф. Мочалов, Д. В. Жуков // *ГЕОМАТИКА*. — 2012. — №4. — С. 102–106.