

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ АДАПТАЦИЯ АНАЛИТИКО-ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОПИСАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В РАЙОНЕ ПОРТА

**В. Ф. Мочалов, О. В. Григорьева (Санкт-Петербург),
Olga Brovkina (Brno, Czech Republic),
В. А. Зеленцов, С. А. Потрясаев (Санкт-Петербург),
F. Zemek (Brno, Czech Republic)**

Введение

Известно, что характеристики устойчивости территории и антропогенного воздействия рассчитываются, как правило, на основе данных, полученных в ходе тематической обработки материалов аэрокосмической съемки и тестовых наземных измерений. На основе изложенной ранее модели управления структурной динамикой сложных объектов [1] была разработана оригинальная аналитико-имитационная модель описания экологической обстановки, для которой параметрическая адаптация осуществляется на уровнях выбора: параметров, характеризующих состояние окружающей среды и отдельных коэффициентов логистической функции Ричардса в виде кривой «нагрузка-устойчивость»; алгоритмов оценки показателей устойчивости и антропогенного воздействия; структуры показателей экологической обстановки объекта контроля.

На основе аналитико-имитационной модели решаются задачи ранжирования портов в зависимости от состояния экологической обстановки, разрабатываются предложения по улучшению экологической обстановки и по развитию инфраструктуры территорий и акваторий портов, обоснованию работ по повышению (сохранению) устойчивости территории, снижению антропогенной нагрузки.

Технология предусматривает определение следующих основных показателей характеризующих объекты контроля:

- устойчивость экосистемы $\{G\}$ – ряд физико-географических и адаптационных показателей, описывающих экологическую устойчивость территории;
- антропогенная нагрузка на территорию $\{X\}$ – ряд показателей, характеризующих антропогенные воздействия;
- оценка экологической обстановки $\{Y\}$ – комплекс показателей, характеризующих состояние окружающей среды в условиях антропогенного воздействия;
- экономический ущерб $\{C\}$, вызванный антропогенным воздействием, или затраты, необходимые на реабилитацию территории;
- показатели динамики изменения экологической обстановки $\{V\}$ во времени.

Цель параметрической адаптации аналитико-имитационной модели состоит в обеспечении требуемого уровня адекватного описания объекта контроля для обоснованного сосредоточения усилий, связанных с поддержанием в районе морского порта экологической обстановки на должном уровне.

На рис. 1 приведена структурная схема работы с моделью экологической обстановки в районе порта. Предлагаемая управленческая интерпретация процессов моделирования позволила на конструктивном уровне использовать ранее полученные в классической теории результаты в области параметрической адаптации применительно к адаптации уже не технических, а эколого-технологических объектов [1–3].

На рис. 1 цифрами обозначены: 1, цель функционирования моделируемого объекта; 2, представление входного воздействия; 3, цель моделирования системы; 4, моделируемая система; 5, составные части аналитико-имитационной модели; 6, оценка качества моделирования; 7, управление моделированием на уровнях параметров, 8; алгоритмов, 9; 10 концептуального описания системы.

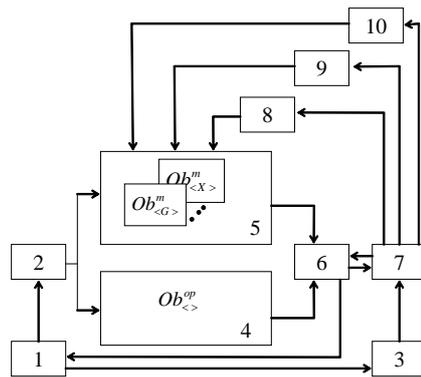


Рис. 1. Схема параметрической адаптации аналитико-имитационной модели

В качестве выходных данных по результатам применения модели для каждого объекта создаются тематический слой цифровой карты местности с нанесенными экологическими нарушениями и атрибутивные данные, которые сводятся в «Паспорт объекта накопленного экологического ущерба».

Организационная схема (последовательность) работ, связанных с обеспечением экологической безопасности на территории выбранных объектов, предусматривает решение следующих задач [4–10]:

- определение основных параметров, характеризующих объекты контроля;
- разработка тематических слоев цифровой карты местности;
- разработка предложений по планированию и проведению наземных (судовых) обследований;
- экономическая оценка экологического ущерба;
- разработка предложений по очистке загрязненных территорий, предварительная оценка стоимости очистки;
- подготовка исходных данных для принятия эффективных управленческих решений по предупреждению и ликвидации возможных негативных воздействий на окружающую среду.

Конкретный перечень решаемых задач и определяемых параметров зависит от характеристик объекта и исходных материалов съемки.

Технология определения параметров, характеризующих объекты контроля, предусматривает следующие основные этапы:

- измерение отражательных и излучательных характеристик элементов ландшафта в различных интервалах оптического диапазона спектра в условиях антропогенного воздействия в ходе аэрокосмических и наземных измерений;
- выявление признаков для обнаружения и распознавания на основе материалов съемки различных видов антропогенного воздействия, пополнение базы данных (БД) спектральных отражательных характеристик;
- разработка специализированного оригинального программного обеспечения и адаптация общепринятого программного обеспечения для обработки материалов съемки и разработки тематических слоев ЦКМ.

Обработка материалов аэрокосмической съемки осуществляется как в автоматизированном так в интерактивном режимах. Интерактивный режим, помимо использования специализированного программного обеспечения, предусматривает активное участие в обработке материалов съемки экспертов-дешифровщиков.

В обоих случаях при интерпретации материалов съемки используется база данных для информационной поддержки эксперта-дешифровщика, которая в общем случае включает [6–10]:

– банк данных эталонных изображений типовых элементов ландшафта, нарушений экологического состояния окружающей среды (ОС), антропогенных объектов (потенциальных источников загрязнения) и особо опасных производственных объектов;

– подсистему дешифровочных признаков типовых элементов ландшафта, а также нарушений экологического состояния ОС и антропогенных объектов, которые описаны на вербальном уровне или представлены в виде числовых значений отражательных характеристик;

– требования нормативных документов в области охраны окружающей среды в части требований к пространственному размещению объектов недвижимости, оценке ущерба от нарушений и др.

В качестве дополнительных источников информации, а также данных для верификации результатов оценки возможного неблагоприятного воздействия используются:

– цифровые изображения элементов ландшафта, полученные в наземных условиях;

– проектные и архивные данные, топографические и специальные карты контролируемых территорий;

– технические характеристики потенциальных источников загрязнения на территории объектов контроля;

– характеристики почвенно-климатических условий: тип почв, степень влажности, содержание гумуса, структура поверхности;

– характеристика рельефа, гидрографии, геологических и гидрологических условий района;

– сведения о наличии коридоров миграции загрязняющих веществ (материалы из сборников экологического состояния местности);

– гидрохимические, микробиологические и органические показатели состояния водных объектов, в том числе концентрации различных загрязнителей.

Важное место отводится данным, полученным в ходе наземных (или судовых) измерений, которые проводятся с целью:

– подтверждения результатов дешифрирования недостоверно распознаваемых на снимках объектов (элементов ландшафта);

– получения более точных количественных оценок антропогенного воздействия на окружающую среду.

После получения результатов наземного фотографирования, отбора и лабораторных исследований проб воды и почвы проводится комплексная обработка результатов аэросъемки, наземных и морских исследований, которая включает:

– анализ количественных показателей компонентов среды из протоколов отбора и лабораторного анализа проб;

– аппроксимации точечных данных наземного (морского) контроля на весь район исследования с использованием идентификационных отражательных признаков элементов ландшафта;

– уточнение адаптационных показателей G , показателей антропогенного воздействия X и обобщенных показателей экологической обстановки Y на контролируемой территории;

– уточнение экономических оценок ущерба в соответствии с действующими нормативами;

– уточнение предложений по ликвидации выявленных нарушений окружающей среды.

Основные компоненты, оцениваемые при оценке экологической обстановки, представлены на рис. 2.

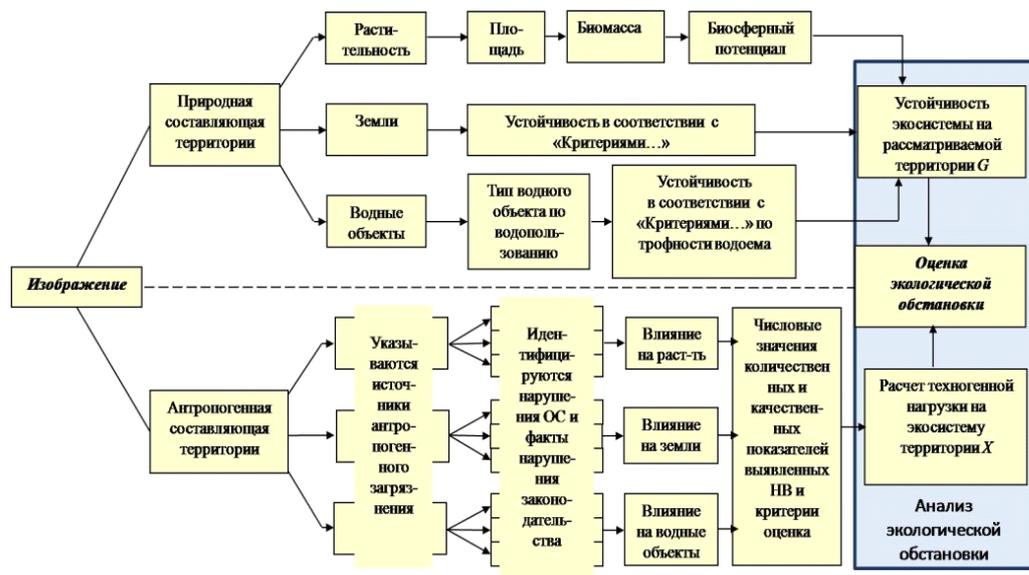


Рис. 2. Компоненты, учитываемые при оценке экологической обстановки

В соответствии с представленной схемой для обобщенной оценки экологической обстановки определяются:

- характеристики природной составляющей (устойчивость территории к антропогенной нагрузке);
- антропогенная составляющая (инфраструктура объекта контроля и возможные факты нарушений природоохранного законодательства).

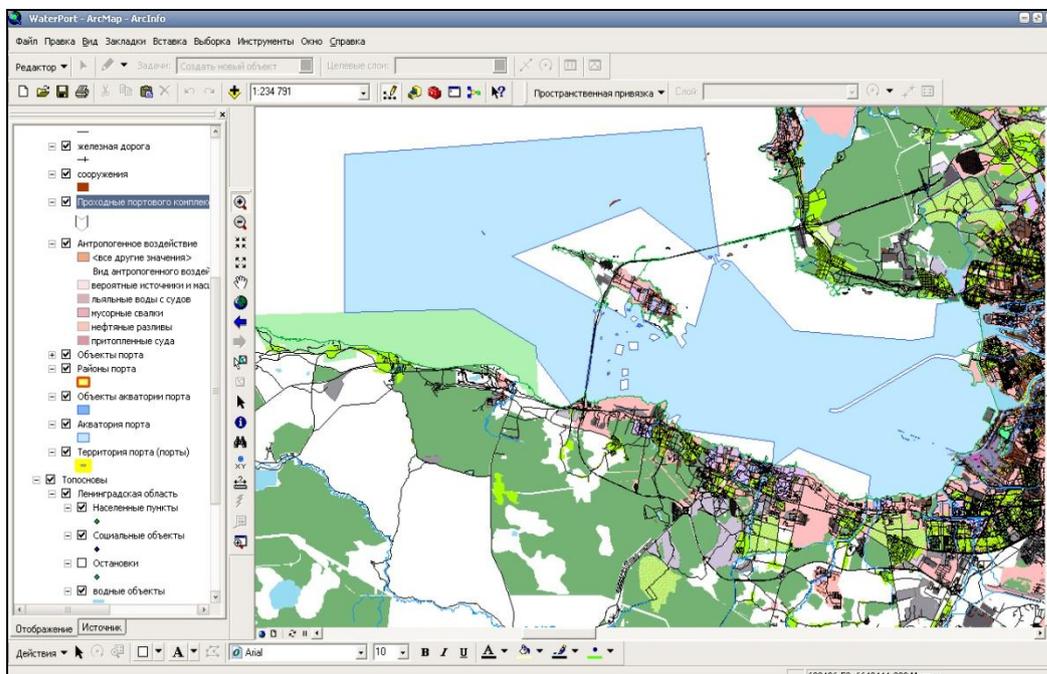


Рис. 3. Фрагмент цифровой карты Финского залива, представляющей основные элементы ландшафта (растительность, водную поверхность, объекты недвижимости), оказывающие влияние на характеристики экологической устойчивости территории в районе порта

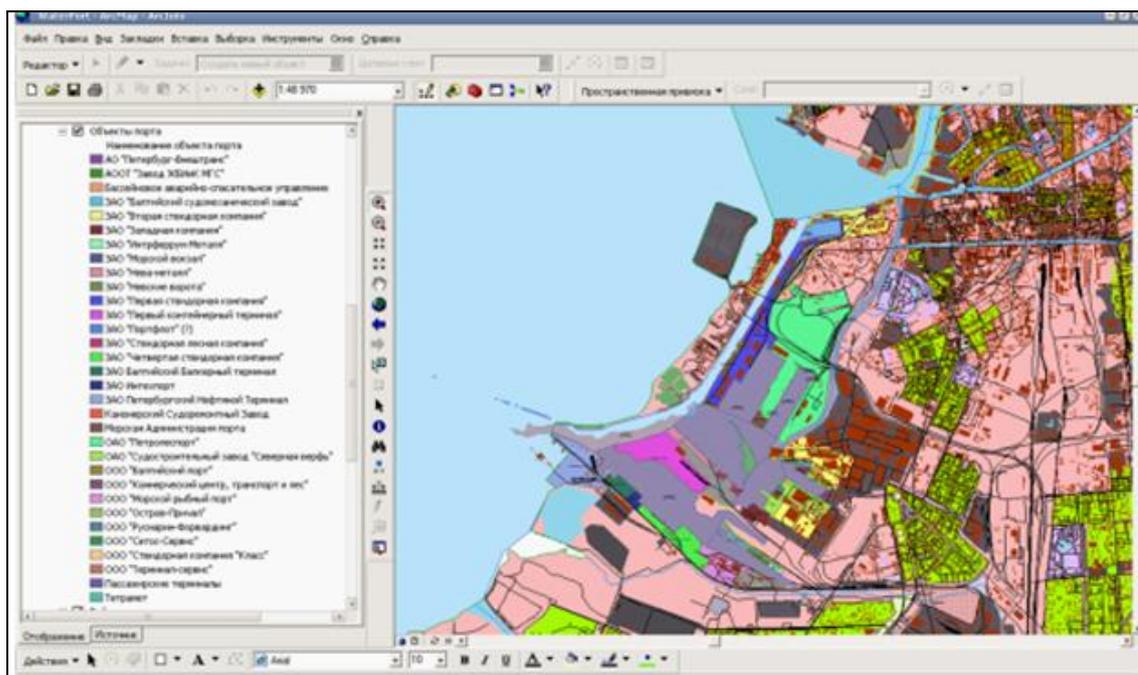


Рис. 4. Фрагмент цифровой карты с отображением инфраструктуры порта, как основного элемента антропогенного воздействия

Показатели экологической устойчивости территории свидетельствуют об адаптационной способности экосистемы к выявленной и прогнозируемой нагрузке. Основным индикатором экологической устойчивости является состояние растительного покрова, а для водного объекта – наличие течения, состояние береговой линии, почвы и другие физико-географические характеристики. Например, акватория Финского залива, как представлено на рис. 3, включает разнообразные элементы ландшафта. Антропогенную нагрузку обуславливают, прежде всего, объекты инфраструктуры порта, а также участки негативных изменений в растительности, загрязнения почвогрунтов и водных объектов, рис. 4.

Укрупненная схема оценки экологической обстановки для объекта с насыщенной антропогенной инфраструктурой, базирующаяся на методологии, представленной в работах [11, 12], приведена на рис. 5.

Заключение. Разработанная аналитико-имитационная модель описания экологической обстановки и алгоритмы ее параметрической адаптации были апробированы в ходе практической оценки экологической устойчивости и уровня антропогенного воздействия на территории ряда объектов в районах морских портов в Мурманской области. Полученные с помощью модели спрогнозированные значения обобщенных оценок экологического состояния территории, полученные по историческим данным, с требуемой точностью совпали с результатами апостериорных полевых и аэрокосмических измерений.



Рис. 5. Схема оценки экологической обстановки

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПбГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074-U01), Программы НТС Союзного государства «Мониторинг СГ» (проект 1.4.1-1), РФФИ №№15-07-08391, 15-08-08459, 13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250, 13-07-12120, 13-06-0087, Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект №2.11), проекта ESTLATRUS 2.1/ELRI -184/2011/14, проекта ESTLATRUS/1.2./ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform».

Литература

1. **Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006.
2. **Пешель М.** Моделирование сигналов и систем. – М.: Мир, 1981.
3. **Скурихин В. И., Забродский В. А., Копейченко Ю. В.** Адаптивные системы управления машиностроительным производством. – М.: Машиностроение, 1989.

4. **Bolstad, P.** (2005) GIS Fundamentals: A first text on Geographic Information Systems, Second Edition. White Bear Lake, MN: Eider Press, 543 pp.
5. **Fu, P., and J. Sun.** 2010. Web GIS: Principles and Applications. ESRI Press. Redlands, CA. ISBN 1-58948-245-X.
6. Integration of Hyperspectral Imagery Into Current and Future ISTAR Systems <http://www.exelisvis.com/Company/PressRoom/TabId/190/ArtMID/786/ArticleID/13850/Integration-of-Hyperspectral-Imagery-Into-Current-and-Future-ISTAR-Systems-.aspx>
7. <http://www.exelisvis.com/Home.aspx>
8. <http://www.esri.com/>
9. <https://www.digitalglobe.com/>
10. <http://gs.mdacorporation.com/>
11. **Жуков Д. В., Матьяш В. А., Мочалов В. Ф., Труфанов А. В.** Системный анализ актуальных прикладных задач наземно-аэрокосмического мониторинга эколого-технологических объектов, исследуемых в проекте ELRI-184/ Труды СПИИРАН/ выпуск 5(28), 2013 г.
12. **Петухов Г. Б., Якунин В. И.** Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов целеустремленных систем – М.: АСТ, 2006. 504 с.