

УДК 004.82, 002:372.8

## НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МОНИТОРИНГЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ

Черемисина Евгения Наумовна<sup>1</sup>, Любимова Анна Владимировна<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Академик РАН, д.т.н., проф., директор Института системного анализа и управления, заведующая кафедрой САУ;

ГБОУ ВПО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,  
Институт системного анализа и управления;  
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;  
e-mail: chere@uni-dubna.ru.

<sup>2</sup>Кандидат технических наук;

ФГУП ГНЦ РФ «ВНИИгеосистем»  
117105, г. Москва, Варшавское шоссе, 8;  
e-mail: anna@geosys.ru.

В статье рассматриваются основные вопросы разработки информационно-аналитического обеспечения для решения практических задач мониторинга состояния окружающей среды: сбора, систематизации и оперативного анализа данных, поддержка аналитических исследований в области изучения природных ресурсов и анализа экологической обстановки, поддержка принятия управленческих решений. Обсуждаются методические и технологические подходы к их реализации, разработанные в лаборатории Геоинформатики ВНИИгеосистем. В их основу заложен принцип интеграции всей доступной информации об исследуемом объекте/процессе/ситуации. Наши технологические разработки сфокусированы на обеспечении оригинальных алгоритмов и удобных интерфейсных средств, позволяющих осуществить всю необходимую последовательность операций от сбора и координатной привязки исходных данных, их интеграции и качественной обработки, до создания информационно-аналитических систем и печати твердых копий результирующих материалов. При этом используется весь спектр современных информационных средств: СУБД, ГИС, Интернет-технологий распределенных вычислений, математического и эвристического аппарата.

Ключевые слова: геоинформационные технологии, пространственное моделирование, мониторинг процессов и ситуаций, экологический ущерб.

## INFORMATION TECHNOLOGIES FOR ENVIRONMENTAL MONITORING AND NATURE-USE PROBLEMS

Cheremisina Evgenia<sup>1</sup>, Lyubimova Anna<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Academician of RANS, Doctor of Science in Engineering, Professor, Director of the Institute of Systems Analysis and Management, Head of «Systems Analysis and Management» department;

Dubna international university of the nature, society and man,  
Institute of the system analysis and management;  
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;  
e-mail: chere@uni-dubna.ru.

<sup>2</sup>Candidate of Science in Engineering;

State Scientific Centre «VNIIGeosystem»;  
117105, Moscow, Varshavskoye shosse, 8;  
e-mail: anna@geosys.ru.

In the report we discuss the main issues of information and analytical supporting of environmental monitoring tasks, such as storage, systematization and operative analysis of the vast volumes of monitoring data, geological and ecological researching, decisions acceptance for situational management. We would like to present our techniques and home-brewed software packages providing technological solution of these problems. The approach is based on integrated analysis of data about geological or ecological

*situation/object/process from different sensing levels of the Earth. Presented technologies obtain all steps of data processing and presentation: from data acquisition, georeferencing, data integrity and quality assurance, through multi-level analysis to pre-print of hard-copies of published maps or decision-making support systems for mineral exploitation and environmental protection management – and combine all tools of information technologies: Relational Database Management System (RDBMS), Internet-based distributed computing framework, analytical procedures including mathematical and heuristic algorithms and, of course, Geographical Information Systems (GIS).*

**Keywords:** geoinformation technologies, spatial modelling, monitoring of processes and situations, ecological damage.

Стратегия устойчивого развития регионов основывается на эффективном управлении природными ресурсами региона с учетом выполнения социальных нормативов и сохранения экологического баланса. Этот процесс может быть обеспечен только за счет качественной информационно-аналитической поддержки процесса принятия управленческих решений на каждом шаге управления природными ресурсами: геологического изучения и поиска новых перспективных участков, их освоения и эксплуатации, а также контроля за экологической ситуацией.

Государственный научный центр РФ ВНИИГеосистем специализируется на разработке научно-методического и программно-технологического обеспечения для эффективного решения задач природопользования. Центр ведет активную и успешную работу в сфере информационных технологий, обеспечивающих переход от традиционных моделей управления природными ресурсами к моделям, основанным на современных принципах рационального природопользования. Более 50 лет специалисты института занимаются решением прикладных задач в области геологического изучения недр, добычи полезных ископаемых, охраны окружающей среды; разработкой программных продуктов для реализации подобных проектов; проведением образовательных мероприятий в данных предметных областях. В процессе работ центр стремится стать главным интегратором в части информационно-аналитического обеспечения решения задач изучения недр и недропользования в РФ.

Нашими заказчиками сегодня являются правительственные организации и агентства, научно-исследовательские институты и университеты, крупные российские и зарубежные коммерческие компании. Научно-методические и технологические разработки ВНИИГеосистем успешно зарекомендовали себя при решении задач в сфере недропользования и охраны окружающей среды.

В частности, по заказу Агентства по недропользованию Роснедра разработана компьютерная система мониторинга освоения и эксплуатации нефтегазовых месторождений. Интегрированная база данных и рабочие места системы обеспечивают ведение учета, накопления и актуализации сведений о ресурсах месторождений углеводородов Российской Федерации.

Созданы системы мониторинга подземных вод Российской Федерации и республики Казахстан. Системы обеспечивают три уровня мониторинга: скважины – месторождения – бассейны подземных вод. Технологические возможности систем включают инструментарий для аналитической обработки данных мониторинга, моделирования уровня подземных вод, характеристик распространения загрязнений и пр.

Разработан Ситуационный центр Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, обеспечивающий интеграцию оперативной информации о чрезвычайных ситуациях в сфере управления природопользованием, ведение ежедневной хроники событий на официальном сайте министерства с детализацией информации по каждому из них и визуализацией «горячих точек» на ситуационной карте.

Важной составляющей наших исследований является информационно-аналитическая поддержка комплексных экологических исследований на различных масштабах и стадиях природопользования. Наши разработки легли в основу атласа геоэкологических условий освоения минерально-сырьевой базы РФ, позволили разработать систему экологической оценки состояния нефтегазоносных территорий Западной Сибири, создать модели для оценки и прогноза экологической ситуации при планировании стратегии промышленного развития региона.

Технологической основой для реализации вышеперечисленных проектов является модульный программный комплекс, обеспечивающий технологическую поддержку всех стадий исследовательской и управленческой деятельности в сфере природопользования. В его состав входят три функциональных блока:

- технологическая платформа «ИАС-конструктор» для эффективного управления данными и конструирования информационно-аналитических систем различной сложности,
- геоинформационная система «ГИС ИНТЕГРО» для комплексной аналитической обработки пространственной информации и решения прогнозно-диагностических задач,
- многофункциональный геоинформационный сервер МГС для оперативной визуализации данных и результатов исследований в среде Интернет, создания ситуационных центров поддержки принятия управленческих решений.

ИАС-конструктор представляет собой технологическую платформу для разработки прикладных ИАС. Ее отличительные особенности:

- работа с известными СУБД и открытость для интеграции со внешними приложениями, включая расширенный *plug-ins support*,
- полностью визуальный подход к разработке настольных и веб-приложений,
- разнообразные инструменты агрегирования, обработки и анализа данных (*OLAP, Data Mining, Decision Support*),
- работа с пространственными данными, включая интеграцию со стандартными геоинформационными системами.

Таким образом, ИАС-КОНСТРУКТОР представляет собой полнофункциональную инструментальную среду разработки, позволяющую за короткие сроки создавать территориально-распределенные информационно аналитические системы (ИАС) на основе промышленных СУБД.

ГИС ИНТЕГРО – оригинальная геоинформационная система, обеспечивающая решение задач геологии и экологии.

Система обеспечивает интеграцию геоданных на всех уровнях зондирования: «космос – воздух – земля – скважина». Включает ГИС-вьюер и редактор для 2D и 3D цифровой картографии с поддержкой основных растровых и векторных форматов, а также широкий спектр алгоритмов и инструментов аналитической обработки включая анализ качества, распознавание образов, таксономию, 3D-моделирование и т.д.

Комбинируя функциональные блоки ГИС ИНТЕГРО под специально разработанными интерфейсами мы создаем готовые программно-технологические комплексы, настроенные на решение конкретных тематических задач:

- ГИС ПРОГНОЗ для прогноза полезных ископаемых,
- ГИС ГЕОФИЗИКА для обработки и интерпретации геофизических данных,
- ГИС ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ, обеспечивающий 3D-моделирование и подсчета запасов залежей,
- ГИС ГЕОЛОГИЯ для решения задач геологической картографии.

ГИС ИНТЕГРО является инновационной технологией, зарегистрированной в реестре программных продуктов Российской Федерации (свидетельство Роспатента № 2003610063) и может быть использована при решении широкого круга прикладных и научно-исследовательских задач в сфере природопользования геологического изучения недр.

МГС – многофункциональный геоинформационный сервер, обеспечивающий разработку интернет-ГИС приложений.

МГС основан на международных стандартах обработки и представления пространственных данных и разработан на базе свободно-распространяемого обеспечения. Позволяет интегрировать распределенные информационные ресурсы, поддерживает систему распределенных вычислений. Включает средства поддержки принятия решений: динамическое моделирование – оперативный анализ – качественная презентация результатов

На базе МГС создана подсистема пространственного моделирования, обеспечивающая оценку (и прогноз) пространственной картины развития ситуации на основе комплексной оценки внешних и внутренних факторов, ее определяющих. Подсистема (см. рис. 1) включает интерфейсные средства и аналитический аппарат для создания моделей объектов/процессов/ситуаций, их наполнения, обработки и представления полученных результатов моделирования в среде интернет-ГИС.

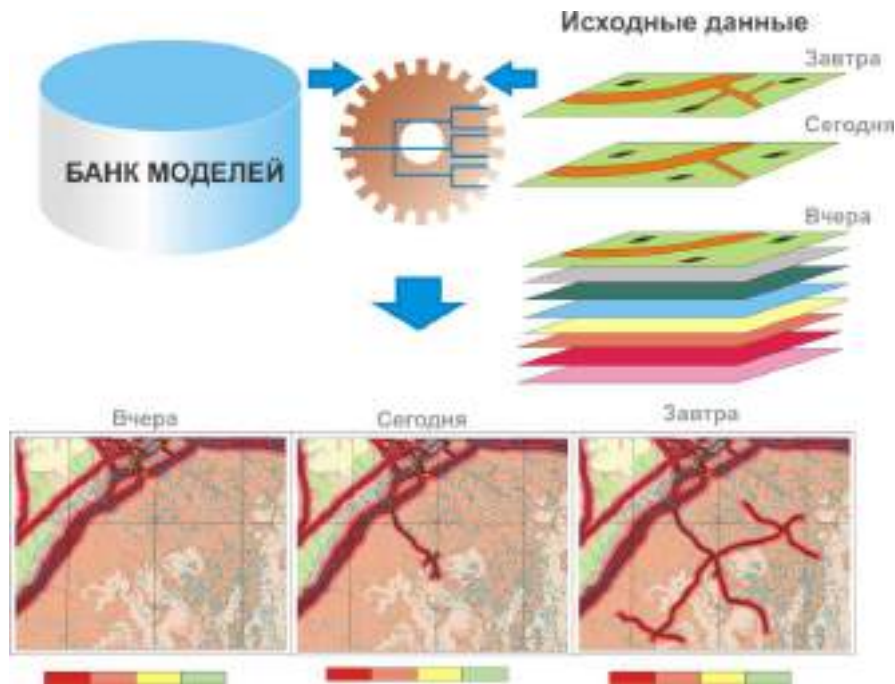


Рис. 1. Схема функционирования подсистемы моделирования МГС

Методическая основа моделирования экологической ситуации состоит в пространственной оценке совокупности внешних и внутренних факторов, определяющих текущее (или прогнозируемое) состояние территории (рис. 2). При этом факторы такой модели представляют собой формальные характеристики анализируемых процессов (количественные значения, ранговые оценки, семантические описания). Целевая функция – это совокупная оценка вектора значений исходных факторов для каждого элементарного участка (ячейки) территории.

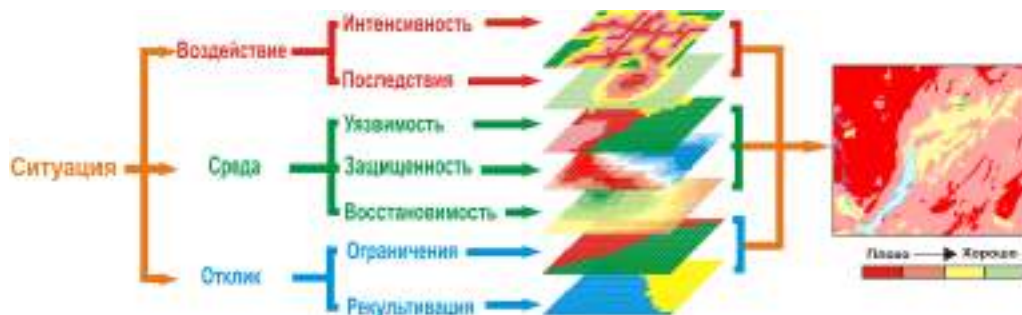


Рис. 2. Схема создания модели

Формализация модели (рис. 3) – т. е. расчет формальных характеристик факторов – проводится на основе картографической или математической обработки исходной информации (карт, баз данных, данных аэро- и космосъемок). Для согласования разнородных источников информации, оптимизации времени и вычислительных ресурсов эти характеристики рассчитываются в формате регулярной сети. Критерием при выборе размера ячейки может служить площадь минимального значимого объекта на исходных картографических слоях. Для определения значимости факторов и их значений в модель вводится система весовых коэффициентов.

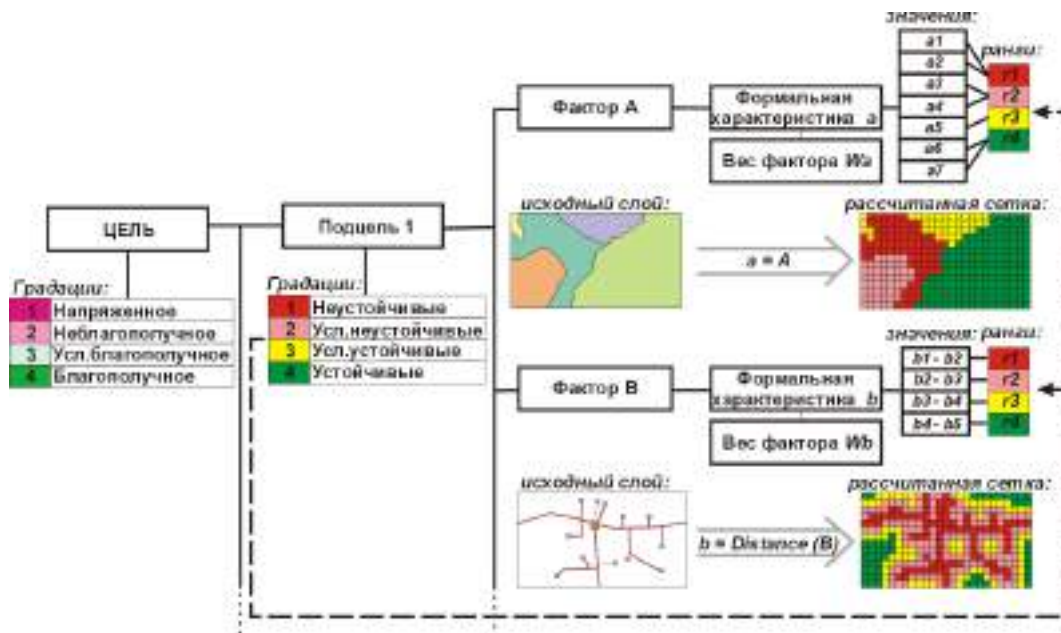


Рис. 3. Схема формализации модели

Говоря об алгоритмическом аппарате расчета целевой функции модели, можно выделить два наиболее распространенных способа. Первый позволяет оценить ситуацию «как есть». В его основе лежат классификационные алгоритмы, которые позволяют разделить исследуемую территорию на участки, «схожие» (однородные) по значениям входящих факторов (т.н. *coincidence modeling*). Факторы такой модели описывают категории различных свойств анализируемой территории, а рассчитываемая целевая функция модели содержит категории результирующей оценки. В качестве основных способов такой оценки можно выделить:

- анализ уникальных сочетаний значений формальных признаков – при обработке моделей с небольшим количеством факторов, представленных качественными малопредставительными значениями;
- взвешенная сумма рангов – для расчета моделей, факторы которых имеют направление оси оценки и описываются ранговыми признаками;
- кластерный (таксономический) анализ – в том случае, если факторы модели представляют реальные физические величины, в вероятностном распределении их значений существуют естественные закономерности, и необходимо выделить области, им соответствующие.



Рис. 4. Расчет целевой функции с помощью классификационных алгоритмов

Для того, что провести расчет зоны возможного распространения моделируемого события с учетом времени могут быть использованы «дисперсионные» модели (*dispersion modeling*). В этом случае факторы модели должны отражать свойства, отвечающие за преимущественное «направление» и «скорость» распространения анализируемого события на исследуемой территории, входящим параметром будет являться точка его возникновения и начальная «интенсивность», а результирующая функция модели будет показывать наличие или «интенсивность» процесса в ячейке на прогнозируемый момент времени.

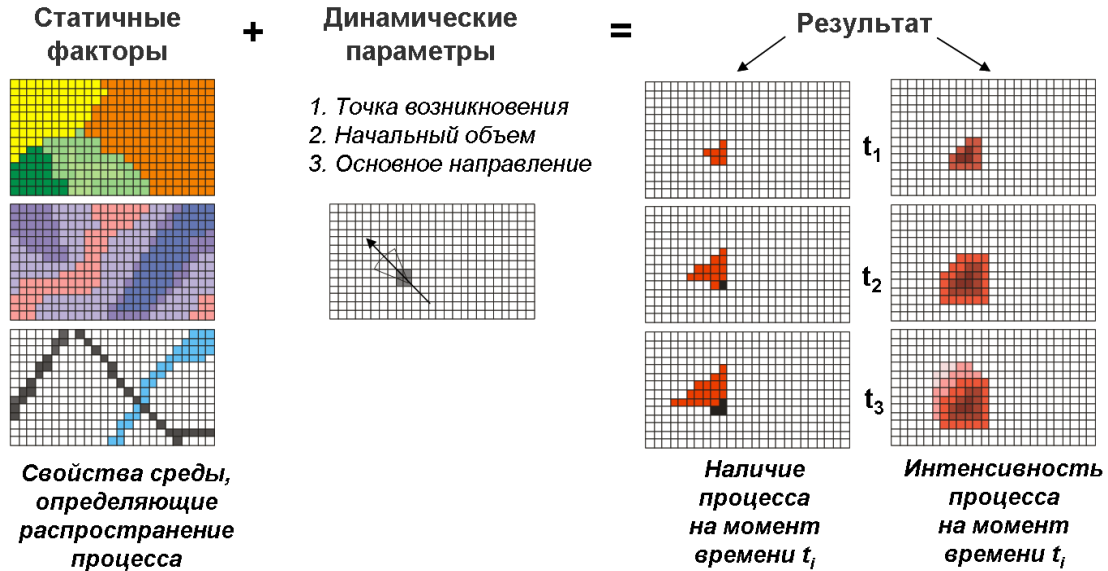


Рис. 5. Расчет целевой функции с помощью «дисперсионных моделей»

В качестве областей практического применения представленной технологии можно выделить следующие направления.

В рамках научных исследований – это разработка и тестирование экспертных моделей, позволяющих получать комплексные оценки экологического состояния территорий, фиксировать наиболее проблемные зон различных регионов, требующие оперативного мониторинга за ситуацией.

При реализации управленческих задач – быстрое и наглядное зонирование территории по видам потенциально возможных природных и техногенных рисков для оптимизации стратегии ее дальнейшего развития с учетом не только возможных прибылей, но и потенциальных потерь в случае наступления чрезвычайной ситуации.

Представленная технология позволила реализовать ряд научно-исследовательских проектов по оценке состояния окружающей среды в ряде российских и зарубежных регионов.

С ее помощью реализованы модели, обеспечивающие анализ факторов природного и техногенного риска на различных масштабных уровнях. Проект выполнен в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (2009-2013). На рис. 6 представлена модель обзорного масштаба, позволяющая получить набор наиболее вероятных природных и техногенных рисков в любой точке карты Российской Федерации.

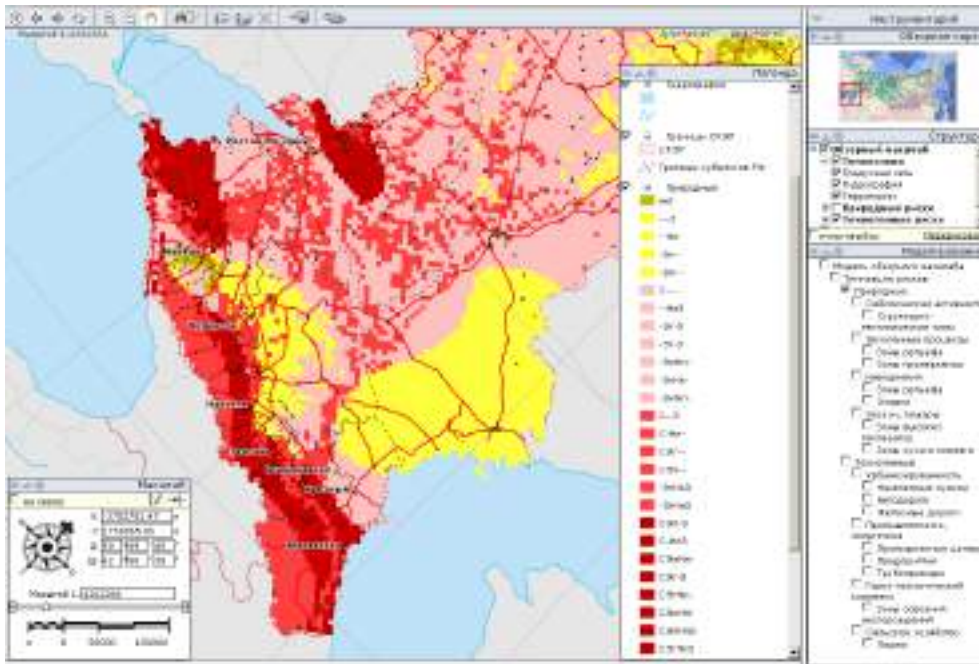


Рис. 6. Получение комплекса природных рисков с помощью модели обзорного масштаба

Модель следующего масштабного уровня, позволяет оценить интегральный уровень риска и локализовать зоны повышенной опасности, где проявление факторов риска наиболее вероятно, а интенсивность наиболее высока. На рис. 7 представлена реализация такой модели для территории Северо-Кавказского региона.

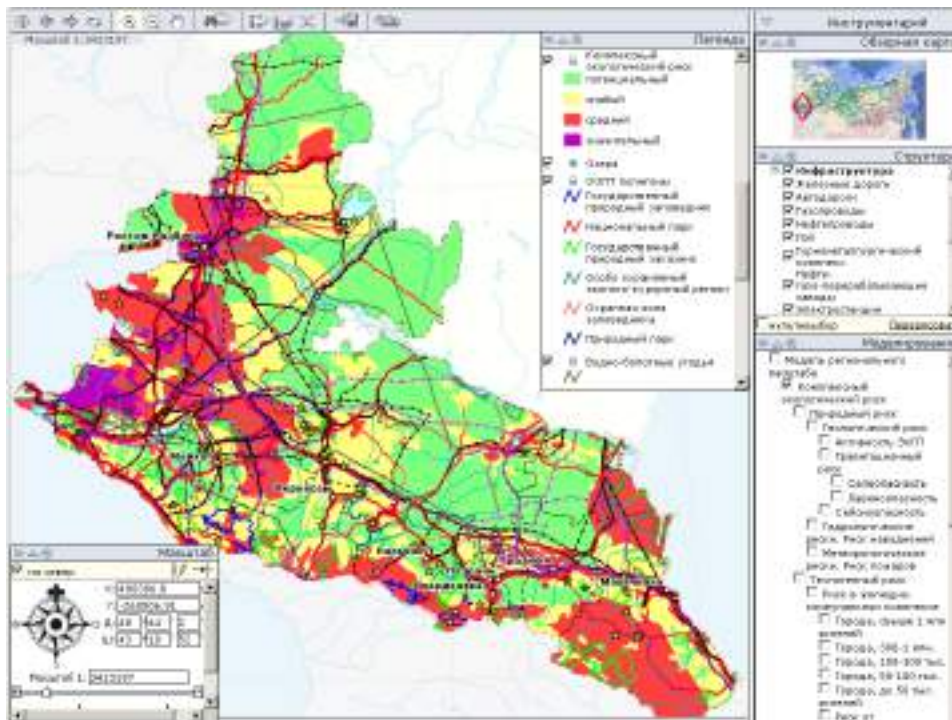


Рис. 6. Оценка интегрального уровня экологического риска с помощью модели регионального масштаба

На рис. 8 представлена модель детального масштаба, позволяющая спрогнозировать динамику распространения опасного события: лесного пожара на тестовом участке территории. Модель выполнена в рамках сотрудничества с Институтом космических исследований им. Академика У.М. Султангазина (Республика Казахстан).

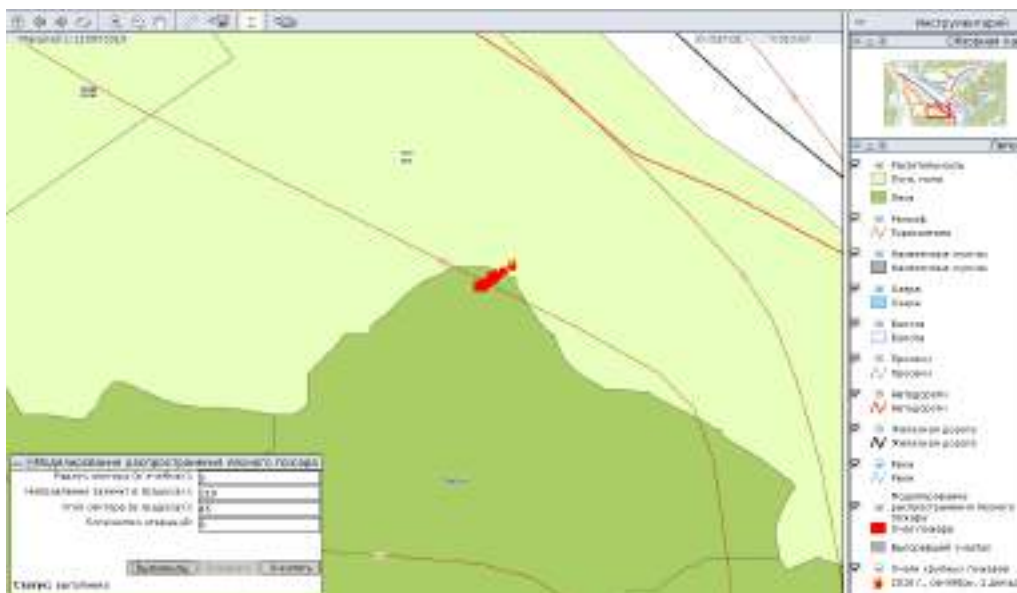


Рис. 8. Прогноз развития очага лесного пожара с помощью модели детального масштаба

Следующим важным аспектом природопользования является контроль за экологически опасными объектами. Его успешное выполнение требует разработки современных средств мониторинга состояния объектов и территорий на базе информационно-аналитических систем, обеспечивающих:

- систематизированное хранение и ведение интегрированных баз данных наблюдений, результатов их обработки и сопутствующей документации,
- рабочие места для ввода и анализа мониторинговых данных, формирования аналитической и статистической отчетности, включая картографическое представление,
- аналитический аппарат для специализированной обработки данных, включая комплексные оценки экологической опасности объектов и расчет ущерба природной среде и социуму.

Примером реализации таких систем является разработанная в сотрудничестве с ОАО НПЦ «Недра» по заказу Федерального агентства по недропользованию Российской Федерации «Информационно-аналитическая система сопровождения работ по выявлению, обследованию и ликвидации экологически опасных скважин на нефть и газ». Аналитический аппарат информационной системы обеспечивает:

- комплексную оценку степени опасности скважин по их воздействию на окружающую среду по совокупности опасных признаков и проявлений: расположение, тип и характер флюидопроявления, степень загрязнения, техническое состояние скважины и пр.
- поддержку принятия решений по выбору первоочередных скважин для ликвидации на основе трех групп параметров:

I - степень экологической опасности,

II - размер ущерба от воздействия на окружающую среду

III - предварительная стоимость ликвидации

В ходе создания системы разработана обобщенная методика расчета ущерба окружающей среде. При этом под оценкой ущерба окружающей среде понимается экономическая оценка объемов загрязнения, нарушения и деградации основных компонентов ОС: атмосферного воздуха, водных и земельных ресурсов.

В качестве методического обеспечения для расчета количественных оценок ущерба использованы следующие методические рекомендации и нормативные документы:

1. «Временная методика определения предотвращенного экологического ущерба» (Л.В. Вершков, В.Л. Грошев, В.В. Гаврилов и др.).



2. Постановление Правительства РФ «Об утверждении Порядка определения платы и ее предельных размеров за загрязнение окружающей природной среды, размещение отходов, другие виды вредного воздействия» (от 28.08.92 №632 с изменениями на 12 февраля 2003 года).

3. Закон РФ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 №7-ФЗ.

Согласно разработанной методике общий ущерб окружающей среде рассчитывается как сумма ущербов по всем затронутым негативным воздействиям средам. Оценка ущерба по каждой из них выполняется путем произведения объема нарушения (площади, массы выброса, дебита сброса) на удельную стоимость нарушаемого ресурса. При этом учитываются повышающие коэффициенты, отвечающие за интенсивность негативного воздействия (превышение ПДК, глубина загрязнения и т.д.), за ценность нарушенной территории (экологическую, социальную, природную) и остроту экологической ситуации в регионе.

Значения объемов нарушения фиксируются путем натуральных наблюдений в ходе проведения обследования объектов контроля (углеводородных скважин). Удельные стоимости ресурсов определяются нормативными документами, регламентирующими процедуру компенсации негативного воздействия (например, стоимость освоения новых земель взамен изымаемых сельхозугодий для несельскохозяйственных нужд, плата за объем выбросов или сбросов различных загрязняющих веществ).

Таким образом, реализованная информационно-аналитическая система (рис. 9) позволяет не только вести полноценный мониторинг состояния опасных углеводородных скважин с помощью оперативной базы данных и результатов обследования скважин, но и выполнить расчет экологического ущерба от загрязнения земель, водных источников и атмосферного воздуха.

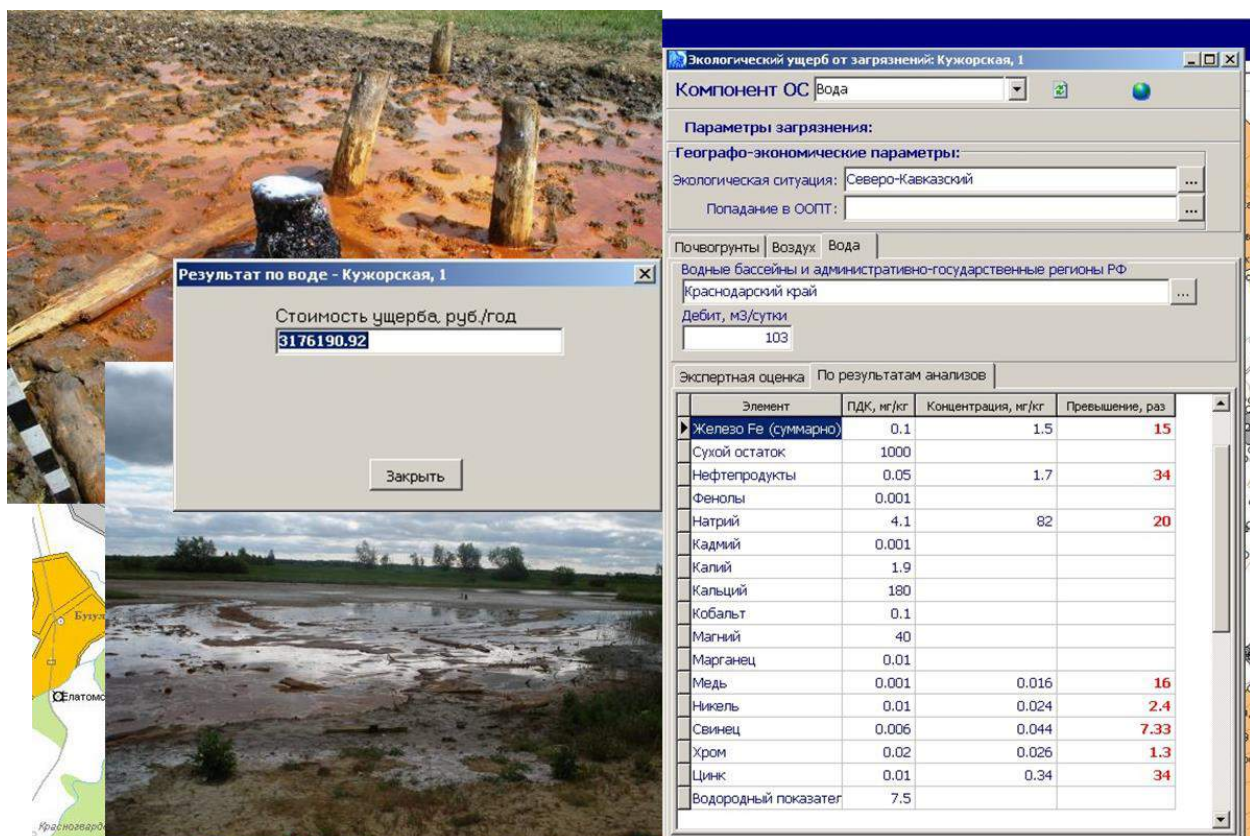


Рис. 9. Пример расчета стоимости ущерба от загрязнения водных источников по скважине Кужорская (Краснодарский край)

Важным аспектом технологической поддержки принятия управленческих решений в сфере мониторинга является разработка т.н. систем ситуационного управления, т.е. комплексов специально организованных рабочих мест для персональной и коллективной аналитической работы руководителя или группы руководителей.

Такие системы (рис. 10) обеспечивают интеграцию необходимых информационных потоков, их углубленную аналитическую обработку для получения возможных вариантов развития событий, оперативную визуализацию результатов и ранжирование полученных альтернатив по степени их перспективности с привлечением экспертных оценок.



Рис. 10. Схема организации систем ситуационного управления

Методические приемы и технологические разработки, реализованные нами для обеспечения этих функций, прошли успешную апробацию в ходе создания Ситуационного Центра Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации.

Разработанный программно-технологический комплекс Ситуационного центра МПР включал веб-портал с хроникой чрезвычайных ситуаций в сфере природопользования, оперативную карту для визуализации ситуации на выбранную дату, а также средства подключения к удаленным ресурсам для получения более подробной информации о текущей обстановке (рис. 11).

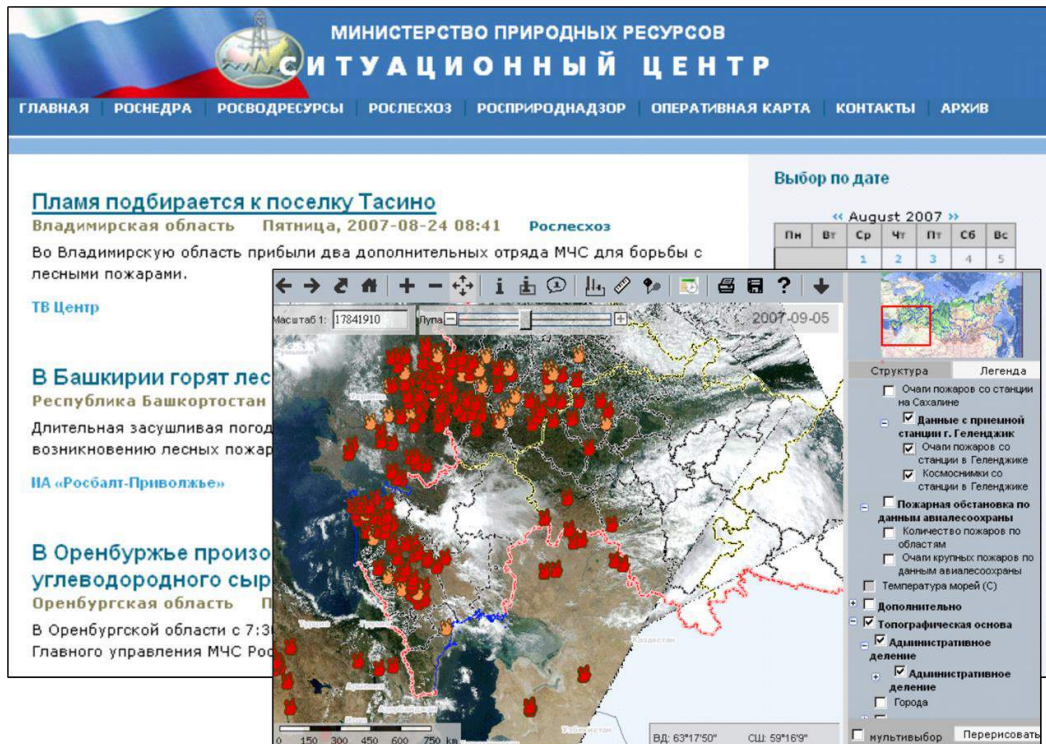


Рис. 11. Оперативная карта и хроника событий на веб-портале СЦ МПР РФ

## Список литературы

1. Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Геоинформационные системы. – М.: ВНИИГеосистем, 2005.
2. Чесалов Л. Е., Блискавицкий А. А., Аракчеев Д. Б. Информационно-аналитическое обеспечение рационального природопользования. – М.: Государственный научный центр Российской Федерации, 2006.
3. Черемисина Е.Н., Любимова А.В., Суханов М.Г. Многофункциональный геоинформационный сервер программно-технологический комплекс интеграции, обработки и представления пространственных данных // Материалы 4-ой Международной конференции «Земля из космоса – наиболее эффективные решения». – М.: 2009.
4. Митракова О.В., Аракчеев Д.Б., Любимова А.В. Информационно-аналитические системы мониторинга состояния и использования недр в управлении природопользованием: Монография. – М.: ВНИИГеосистем, 2011. – С. 96.
5. Аракчеев Д.Б., Попов А.С. Технологическая платформа «ИАС Конструктор» – новый уровень создания информационно-аналитических систем: Монография. –М.: ВНИИГеосистем, 2012.
6. Черемисина Е.Н., Любимова А.В. Методические подходы к формализации комплексной оценки природных и техногенных рисков на территории региона Российской Федерации // Геоинформатика. – М.: ВНИИГеосистем, 2011. – № 2. – С. 57-60.
7. Любимова А.В., Диковский И.А. ГИС-анализ основных факторов, обуславливающих природные и техногенные риски на территории Российской Федерации // Геоинформатика. – М.: ВНИИГеосистем, 2011. – № 2. – С. 61-67.
8. Любимова А.В., Спиридонова В.В. Комплексное районирование территории Северо-Кавказского экономического района по природным рискам // Геоинформатика. – М.: ВНИИГеосистем, 2012. – № 1.
9. Митракова О.В., Любимова А.В., Труханкин В.В. Экономические аспекты оценки ущерба окружающей среде от воздействия экологически опасных неэксплуатируемых нефтяных скважин // Экономика в промышленности. – М.: НИТУ «МИСиС», 2013. – № 4. – С. 81-85.