

А.В. РОМАНОВ, А.И. ЛЕКТАУЭРС, Г.В. МЕРКУРЬЕВА, А.А. ЧУМИК,
С.А. ПОТРСАЕВ, С.А. РОГАЧЕВ
**ОБОБЩЕННОЕ ОПИСАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ
МОДЕЛЕЙ ЭКОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

Романов А.В., Лектауэрс А.И., Меркурьева Г.В., Чумик А.А., Потрысаев С.А., Рогачев С.А. **Обобщенное описание и классификация моделей эколого-технологических объектов наземно-космического мониторинга.**

Аннотация. Мониторинг окружающей среды имеет важнейшее значение в современном мире для обеспечения безопасного и комфортного проживания людей, он позволяет понять, как меняется наша планета и ее климат, какую роль в этих изменениях играют антропогенные и техногенные факторы. Для мониторинга и прогнозирования используются различные методологии и модели принятия решений, данная статья представляет собой обзор наиболее интересных моделей наземно-космического мониторинга эколого-технологических объектов, которые были исследованы в рамках проекта ИНФРОМ.

Ключевые слова: модель, классификация, наземно-космический мониторинг, эколого-технологический объект.

Romanovs A.V., Lektavers A.I., Merkurjeva G.V., Cumiks A.A., Potrysaev S.A., Rogachev S.A. **General description and classification of the models of ecological and technological objects ground-space monitoring.**

Abstract. Environmental monitoring is essential in modern world to ensure a safe and comfortable peoples living, it helps to understand how changes the planet and its climate, what role these changes play a anthropogenic and technological factors. Monitoring and forecasting uses different methodologies and models of decision making; this paper provides an overview of the most interesting models of ground-space monitoring of environmental and technological objects, which have been studied in the framework of the project INFROM.

Keywords: model, classification, ground-space monitoring, ecology-technological objects.

1. Введение. По мере развития науки и техники общество всё чаще сталкивается со стихийными природными явлениями и технологическими катастрофами, поэтому эффективное использование результатов наземно-космического мониторинга и их интеграция с процессами экономического управления приобретает значение стратегического фактора для ускорения социально-экономического развития любого региона планеты.

В 1998 г. в целях обеспечения всеобъемлющего мониторинга окружающей среды руководящими органами Европейского Союза было принято решение о разворачивании программы GMES* (Global Monitoring for Environment and Security), которая должна осуществ-

* <http://copernicus.eu>

ляться под эгидой Еврокомиссии в партнерстве с Европейским космическим агентством (European Space Agency, ESA) и Европейским агентством по окружающей среде (European Environment Agency, EEA). Являясь на сегодняшний день наиболее масштабной программой наблюдения Земли, GMES обеспечивает государственные органы и других пользователей высокоточной, современной и доступной информацией для улучшения контроля изменений окружающей среды, понимания причин изменения климата, обеспечения безопасности жизни людей и решения других задач. Отметим, что наиболее важной представляется задача мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями.

Пилотным проектом GMES в области управления чрезвычайными ситуациями является сервис SAFER[†] (Safety and Fitness Electronic Records), направленный на укрепление потенциала Европы в плане мониторинга чрезвычайных ситуаций, вызванных погодными явлениями (ураганами, природными пожарами и наводнениями), природными катаклизмами (землетрясениями, цунами, извержениями вулканов, оползнями и проседаниями), экологическими антропогенными катастрофами (например, разливами нефти). SAFER будет также предоставлять информацию для решения гуманитарных катастроф. Сервис обеспечивает доступ к продуктам, таким как необработанные космические снимки для любой географической зоны по всему миру, данные о ситуации, предшествовавшей стихийным бедствиям, и оперативные данные о ситуации сразу после стихийных бедствий — в течение 24 часов после события. С 2010 г. начали работать сервисы, связанные с обеспечением информацией о стихийных бедствиях заинтересованных пользователей: EVOSS[‡] (European Volcano Observatory Space Service)— наблюдение за вулканами из космоса; DORIS[§] (Ground Deformation Risk Scenarios)— наблюдение за деформациями земной коры; SubCoast^{**} — наблюдение за опусканием берегов по всей Европе.

Критериями целесообразности использования космических систем при решении той или иной проблемы выступают, как правило, актуальность ее решения, а также экономическая эффективность или принципиальная невозможность решения традиционными средствами.

[†] <http://safer.fmcsa.dot.gov/>

[‡] <http://www.evoss.eu/>

[§] <http://www.doris-project.eu/>

^{**} <http://www.subcoast.eu/>

Для мониторинга большинства природно-технологических объектов наиболее эффективным представляется решение, интегрирующее традиционные и космические средства мониторинга.

Технология, разрабатываемая в рамках международного европейского проекта ИНФРОМ «Комплексная интеллектуальная платформа для мониторинга международных природно-технических систем» [1] (INFROM, Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems, ELRI-184, Estonia-Latvia-Russia cross border cooperation Programme within European Neighbourhood and Partnership Instrument 2007-2013), предполагает создание интеллектуальной платформы для обработки и использования результатов как космического, так и наземного мониторинга. При этом предусматривается формирование единого информационного пространства для мониторинга природно-технологических объектов приграничных государств, что обеспечит существующие потребности органов самоуправления и населения в объективной информации о состоянии окружающей среды для использования в образовании, науке, бизнесе, ситуационном управлении, а также послужит дополнительным независимым источником оперативной информации о природных или технологических опасных процессах.

Информация мониторинга обычно получается из различных источников данных, таких как биометрические, аэрокосмические и другие системы контроля, наблюдения и учета, и, таким образом, она является гетерогенной по своей природе (электрические сигналы, графическая, аудио, видеoinформация, тексты и т.п.). Таким образом, принимая во внимание сложность и многофункциональность современных природно-технологических систем, их мониторинг должен производиться в условиях крупномасштабных гетерогенных наборов данных.

Далее в статье мы рассматриваем наиболее интересные из моделей технологических и экологических объектов, исследованных в рамках проекта ИНФРОМ.

2. Структура и классификация моделей технологических и экологических объектов. Под технологическими объектами мы понимаем объекты, которые являются искусственными или относящимися к процессам или веществам, созданным человеческими технологиями. Для исследований в рамках проекта ИНФРОМ данные объекты были классифицированы следующим образом:

- постройки:
 - производство энергии:
 - ГЭС;

- газохранилища;
 - ветровые электростанции;
 - фабрики и производства:
 - хлебобулочные;
 - напитки;
 - строительные материалы;
 - сталь и др. металлические материалы;
 - текстильные и швейные материалы;
 - дерево;
- инфраструктура:
 - мосты;
 - автобусные терминалы;
 - плотины;
 - трубопроводы;
 - железные дороги;
 - дороги;
 - железнодорожные станции.

Некоторые объекты имеют аналогичные модели работы в обычных и критических условиях, другие же имеют уникальные модели поведения.

Мониторинг технологических объектов позволяет наблюдать изменения в объекте для того, чтобы:

- оптимизировать процессы, связанные с объектом;
- предотвратить события, которое приведут к повреждению объекта;
- определить области, влияющие на работу объекта;
- оценивать финансовые, экологические или другие показатели объекта.

Технические модели для мониторинга объекта аналогичны концептуальным моделям объекта и главным образом определяются целью мониторинга. Таким образом, невозможно описать все возможные модели и в данной статье рассматриваются только несколько моделей.

Экологические системы включают в себя изучение динамики изменения экосистем, изучение влияния различных природных и антропогенных факторов на экосистемы, оценку режимов управления природными ресурсами и т. д. Все объекты были разделены на следующие категории:

- Мониторинг экосистем:
 - аэрозоли в атмосфере;
 - загрязнение воздуха;

- загрязнение воды;
- Мониторинг природных ресурсов:
 - инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения;
 - прогноз урожая;
 - эрозия почвы и берегов;
 - обезлесение;
 - лесоустройства;
 - анализ рек, озер, морей, ледяного покрова;
 - анализ динамики подземных вод;
 - содержание воды в реках и озерах.

Для мониторинга и прогнозирования используются различные методологии и модели принятия решений — землепользование по классификации спутниковых снимков, гидрологический анализ данных, интеграция данных дистанционного исследования и гидрологического анализа данных.

Эти модели включают в себя микроэкономические модели, модели, основанные на теории пространства, психосоциальные и когнитивные модели, институционные модели, модели принятия решений на основе опыта или предпочтений (эмпирические правила), эмпирические или эвристические правила, эволюционное программирование, а также правила на основе предположений и/или калибровки.

При проведении исследований наибольшее внимание уделяется исследованиям экологических систем в условиях риска. Например, наводнения являются одним из наиболее разрушительных стихийных бедствий, представляющих значительную угрозу не только природным и хозяйственным объектам, но и населению, проживающему в различных регионах Европы, а подтопления по масштабам и динамике развития выходят на уровень крупномасштабного катастрофического явления. Одним из факторов усугубляющих эти явления являются интенсивное снеготаяние, обильные осадки в виде дождя и мокрого снега, сильные ветра в устьях рек, вызывающие приливные подтопления.

3. Системы картографии наводнения [2, 3, 4]. Природные или техногенные катастрофы приводят к убыткам с разной степенью интенсивности в данной области. Как показали события последних лет, наводнения являются одним из наиболее разрушительных стихийных бедствий, представляющих значительную угрозу не только природным и хозяйственным объектам, но и населению. Защита от наводнений может быть достигнута путем различных структурных мер, таких как дамбы, каналы, водоемы и неструктурных мер, таких как предупре-

ждения о наводнениях, массовая эвакуация и т.д. Борьбу с наводнениями можно рассматривать как пространственную задачу.

Отображение наводнения осуществляется путём дистанционного считывания и гидрохимии, которая сочетает в себе использование ГПС и мультиспектральное дистанционное считывание для картирования затопленной области, химические пробы воды для различения источников паводковых вод (рек и подземных вод, дождевой воды, воздействия человека) и методы интерполяции и системы географической информации для анализа пространственных структур.

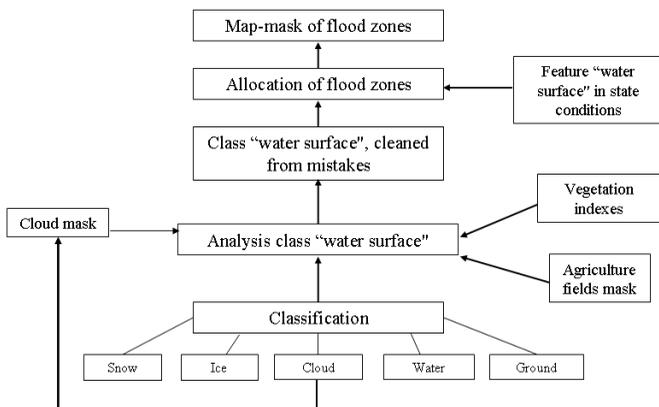


Рис. 1. Алгоритм распределения зон затопления на снимках.

Основные задачи системы картографии наводнения:

- контроль ледовой обстановки в этом регионе;
- мониторинг водной поверхности;
- выявление и наблюдение за динамикой развития бури;
- выявление и анализ центров бури;
- моделирование возникновения и динамики развития бури.

Например, для автоматизированной системы мониторинга наводнений, базирующейся на SAR (Synthetic Aperture Radar, РЛС с синтезированной апертурой), используется оценка статистического распределения значений обратного рассеивания воды из SAR-снимка наводнения:

$$f_{\sigma_m^0}(\sigma^0/k) = \frac{(\sigma^0 - \sigma_1^0)^{k-1}}{\left(\frac{\sigma_m^0 - \sigma_1^0}{k-1}\right)^k} e^{-\frac{(\sigma^0 - \sigma_1^0) \cdot (k-1)}{(\sigma_m^0 - \sigma_1^0)}} \quad (1)$$

Жизнь человека является самым ценным в современном мире, именно поэтому здесь рассматривается формула человеческих потерь при наводнении средней тяжести без своевременного предупреждения.

4. Системы мониторинга пожаров в различных местностях [5, 6]. Лесные пожары являются основным фактором экологических изменений самых разнообразных экосистем. Лесные пожары играют важнейшую роль в преобразовании ландшафта, смене растительности, деградация почвы и качестве воздуха. Улучшение оценки риска возникновения пожара является жизненно важным фактором для уменьшения негативных последствий пожара либо для оказания помощи естественному восстановлению растительности после пожара.

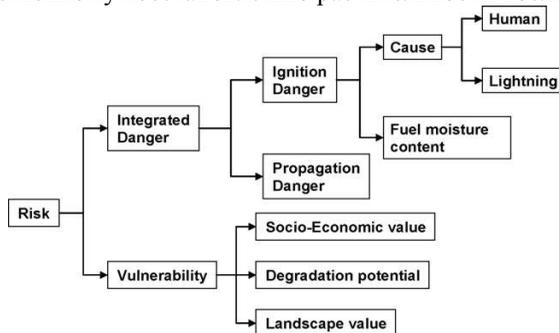


Рис. 2. Пример оценки риска пожара.

В качестве примера рассмотрим МАСС проект^{††}, основанный на исследованиях мощности излучения пожара (*Fire Radiative Power*, FRP). МАСС разрабатывает систему глобального предупреждения пожара (*Global Fire Assimilation System*, GFAS^{‡‡}) для приложений в реальном времени. GFAS интегрирует данные лесных пожаров через инструментарию MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer), SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) и GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite

^{††} www.gmes-atmosphere.eu

^{‡‡} www.gmes-atmosphere.eu/d/services/gac/nrt/fire_radiative_power

Imager), основанные на обработке спутниковых изображений. Наиболее важной составляющей предлагаемого интегрированного подхода является возможность оценки риска возникновения пожара.

Подход оценки рисков пожара разработан с использованием технологий дистанционного исследования и геоинформационных систем.

5. Системы мониторинга землепользования [7, 8, 9, 10, 11, 12]. Использование данных наук о Земле, моделей и географических информационных систем для сельскохозяйственного мониторинга и оценки позволяет лучше понимать влияние на глобальное сельскохозяйственное производство таких факторов как изменение климата, изменения ландшафта, антропогенные и экономические силы.

Существует большое количество методик и моделей для систем мониторинга использования земли: GAM, CLUE, CERES-модель урожая пшеницы, модель M-A. Методология GAM дополняет результаты на раннем этапе исследовательского анализа криволинейных связей между посевных площадей и типографий. CLUE описывает динамичные и масштабы земли, модели изменения использования. Она исследует явные последствия будущих изменений в практике землепользования, с использованием различных сценариев. M-A модель представлена в виде метаданных мониторинга сельскохозяйственных данных дистанционного исследования. Эта модель сельскохозяйственного мониторинга на основе исследовании удаленных метаданных среды.

Для систем мониторинга использования земли также может быть полезна географическая взвешенная регрессия или многоуровневые модели, которые иногда применяются для тропического землепользования и изменения растительного покрова.

ГВР (Географическая взвешенная регрессия) формулируется как:

$$y_i = \beta_{i0} + \sum_{k=1}^n \beta_{ik} x_{ik} + \varepsilon_i. \quad (2)$$

Двухуровневая модель линейной регрессии записывается следующим образом:

$$y_{ij} = \beta_1 + \beta_2 x_{2ij} + \dots + \beta_p x_{pij} + \zeta_j + \varepsilon_{ij}. \quad (3)$$

В различных исследованиях было определено преобразование в средневолновой (near-infrared, NIR) и длинноволновой (middle-infrared, MIR) ИК-областях спектра с целью расширения спектральной информации таким образом, что растительные поверхности могут быть эффективно распознаны, а затем ранжированы в соответствии с водой, что приводит к различиям среди зеленой растительности и сожженной поверхностей. Для решения этих проблем часто используются различ-

ные индексы в моделях: индекс выгоревших территорий (Burned Area Index, BAI), индекс глобального экологического мониторинга (Global Environmental Monitoring Index, GEMI3), а также другие индексы вегетативности, такие как NDVI или VI3.

Индекс сгоревших территорий (BAI) определяется следующим образом:

$$BAI3 = \frac{1}{(\rho_{NIR} - \rho_{CNR})^2 + (\rho_{MIR} - \rho_{CMIR})^2}, \quad (4)$$

где ρ_{NIR} и ρ_{MIR} являются координатами вышеупомянутой точки конвергенции, получаемые из минимального значения NIR и максимального значения MIR отражения сожженной растительности.

GEMI является оптимизированным индексом растительности, предназначенным для минимизации загрязнения растительности внешними факторами, такими как атмосфера и почва. GEMI был модифицирован до GEMI3 заменой канала AVHRR 1 (R) каналом 3 (MIR).

VI3 является вегетационным индексом, который представляет собой модифицированную версию традиционного NDVI:

$$GEMI3 = \frac{\Theta(1 - 0.25\Theta) - (\rho_{MIR} - 0.125)}{1 - \rho_{MIR}}, \quad (5)$$

$$\Theta = \frac{2(\rho_{NIR}^2 - \rho_{MIR}^2) + 1.5\rho_{NIR} + 0.5\rho_{MIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{MIR} + 0.5}.$$

где

5. Автоматическое обнаружение изменения береговой линии [13, 14, 15, 16, 17]. По данным Международного комитета по географическим данным (IGDC) береговая линия может рассматриваться как самая уникальная особенность на поверхности Земли. Расположение и атрибуты береговых линий являются важными факторами для решения разнообразных задач из-за своей краткосрочной и долгосрочной нестабильности. Следовательно, обнаружение и картографирование изменений береговой линии является критическим для безопасной навигации, управления ресурсами прибрежной зоны и устойчивого развития прибрежных зон и планирования.

Движущими силами морфологических изменений в данном случае считается уровень воды (в том числе шторм), высота волны, направление волны, продолжительность шторма и энергия волн.

Изменение береговых линий не является проблемой оперативного уровня, потому что предлагаемая методика включает в себя следующие основные шаги:

1. сбор данных по спутниковым изображениям,
2. обработка данных изображения,
3. визуальный и цифровой анализ изменения во времени береговой линии.

Одной из самых интересных и ценных моделей для обнаружения изменений береговой линии является модель, адаптированная для полуострова Дарс-Цингст. Моделирование десятилетней морфологической эволюции полуострова Дарс-Цингст основано на процессах различных масштабов на основе модели, состоящей из восьми основных модулей для расчета различных физических процессов, которые управляют эволюцией конкретной прибрежной среды.

Эта модель состоит из 8 модулей:

1. 2DH (двухмерный вертикально интегрированный) модуль циркуляции;
2. ветровые волны — модуль расчета параметров волны для прибрежных течений и нижнего напряжения сдвига;
3. модуль границы нижнего слоя (BBL) расчет нижнего напряжения сдвига порожденных совместным действием течений и волн;
4. модуль расчета наносов транспорта;
5. модуль расчета эрозии скалы боковых потоков со скал и пляжа;
6. модуль шторма – рассчитывающий эрозию дюн, смываемых или нарушения в условиях экстремального ветра;
7. модуль обновления батиметрии рассчитывающий долгосрочные батиметрические изменения;
8. функции долгосрочного контроля.

В основном скорость изменения береговой линии вычисляется с использованием программного обеспечения DSAS и двух различных статистических методов: *End Point Rate* (EPR) и линейная регрессия по скорости изменения (WLR).

Автоматическое определение методологии береговой линии обычно состоит из автоматического разграничения суша/море с использованием алгоритмов сегментации, которые оценивают TOA (Top of the Atmosphere, верхнюю границу атмосферы), отраженную на спутниковых снимках Landsat.

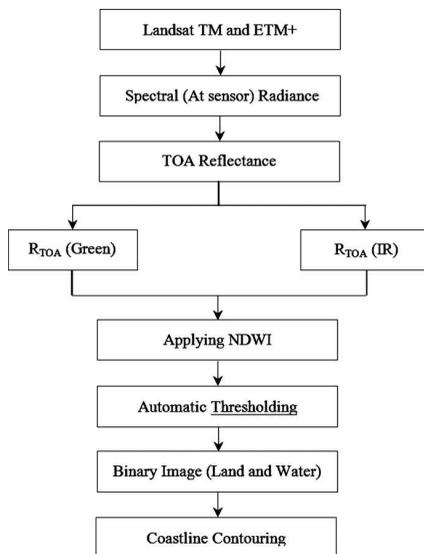


Рис. 3. Блок-схема методологии автоматической экстракции береговой линии.

В качестве примеров можно привести два крупных международных проекта (MICORE и ConHaz), в которых исследовались последствия шторма вдоль европейского побережья. В этих проектах для морфологического моделирования были использованы методы, в основе которых лежит открытый код с использованием модели XBeach. Методология для этих проектов предложена в проекте FP VI Flood, схематический подход был адаптирован агентством FEMA (Federal Emergency Management Agency) в США.

6. Изменения растительного покрова леса [18, 19, 20]. Ущерб, наносимый лесам высокой скоростью ветра в течение последних десятилетий, вызвал значительные экономические потери в лесном хозяйстве как в центральной, так и в северной Европе. Например, в этих регионах в январе 1990 года и декабре 1999 года были повреждены около 100 и 175 млн. м³ древесины соответственно.

В некоторых странах ветер является основным абиотическим фактором риска в лесах, поэтому необходимы различные специальные инструменты, помогающие руководителям оценить риск повреждения ветром. Для таких систем могут быть использованы различные модели, например, механистическая модель повреждения ветром HWINN используется для имитационного моделирования данных для регрес-

сионной модели специфических древесных пород и определения критической скорости ветра. Модель повреждений механистического ветра HWIND может быть реализована с программным обеспечением GIS ArcGIS.

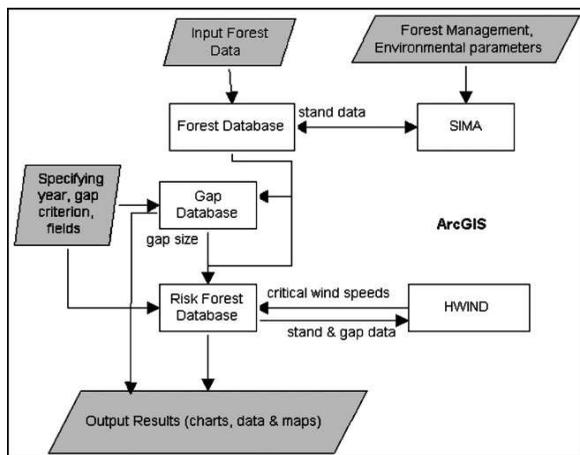


Рис. 4. Пример системы.

Различные системы поддержки принятия решений на основе GIS были разработаны для оценки риска повреждений, причиняемых ветром, путем интеграции модели роста леса и урожайности SIMA и механистической модели повреждения ветром HWIND.

Общая ветровая сила равна сумме силы ветра, действующей в каждой точке ствола и кроны ($\Phi 1$):

$$F_1(z) = \frac{1}{2} C_d \rho u(z)^2 A(z), \quad (6)$$

где u — скорость ветра (МС-1), A (m^2) является обтекаемой площадью проекции ствола и кроны против которой действует ветер, C_d — коэффициент лобового сопротивления и ρ (kg/m^3) — плотность воздуха.

7. Мониторинг трещин и повреждений в несущих стенах [21, 22, 23]. Существует несколько математических уравнений для расчета факторов, которые вызывают трещины и наклоны. Например, для учета основных факторов, влияющих на трещины, Комитет АСИ 224 рекомендует использовать следующую формулу, которая основана на так называемом уравнении Гергелы-Лутз:

$$w = 2.2\beta\epsilon_s \sqrt[3]{d_c A}, \quad (7)$$

где

w — наиболее высокая вероятность ширины трещины (дюйм),
 β — отношение расстояния между нейтральной осью и напряжению к расстоянию между нейтральной осью и центром тяжести арматуры,

ϵ_s — напряжение из-за приложенной нагрузки,

d_c — толщина покрытия от напряжения к центру ближайшего бара (дюйм),

A — площадь бетона симметрична арматурной стали, деленная на количество баров (кв. дюймов).

Используя эту формулу, можно исследовать вероятность трещин несущих стен, например, путем контроля толщины покрытий. Отметим, что контроль можно проводить и с использованием других формул, которые найдены в литературе.

8. Расчет количества доступной мощности ГЭС [30, 31, 32].

Гидроэнергетические ресурсы можно оценить по его мощности. Доступную мощность падающей воды можно рассчитать по скорости потока и плотности воды, высоте падения, и ускорению силы тяжести. В системе единиц SI, сила:

$$P = \eta\rho Qgh, \quad (8)$$

где

P — мощность в ваттах,

η — безразмерный КПД турбины,

ρ — плотность воды в килограммах на кубический метр,

Q — поток кубических метров в секунду,

g — ускорение силы тяжести,

h — разница высот между входом и выходом.

Параметры, необходимые для расчета можно отслеживать, чтобы получить лучшие результаты.

9. Мониторинг состояния почвы в результате повреждения водопровода. Разжижение почвы представляет собой процесс, в котором в течение очень короткого периода времени (несколько секунд или десятков секунд) при сотрясении грунта, почва трансформируется из своего нормального состояния в состояние тяжелой, жидкой массы [24]. Несколько моделей мониторинга описаны в литературе [25, 26, 27, 28, 29] для наземного или космического наблюдения. Одна из них показана на рис. 5.

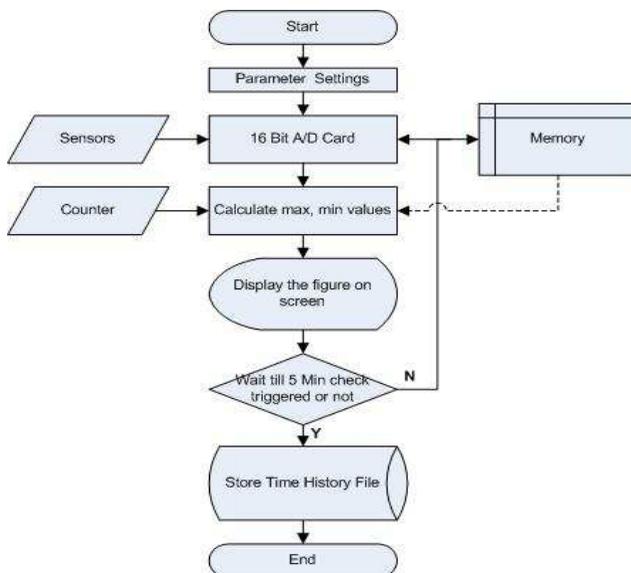


Рис. 5. Блок-схема программы мониторинга.

10. Расчет количества доступной энергии для ветряных электростанций [33, 34, 35]. Количество произведенной энергии зависит от многих факторов, таких как форма винта, высота сужений, поток ветра и т.д. Таким образом, существует множество сложных формул для вычисления мощности. Однако они могут быть упрощены следующим образом:

$$P = \frac{S\rho v^3}{2}, \quad (9)$$

где

- P — мощность,
- S — охват области,
- ρ — плотность воздуха,
- v — скорость.

Эта формула позволяет разработать модель мониторинга для расчета количества доступной мощности для ветряных электростанций, где охват области является константным для конкретного оборудования, плотность воздуха рассчитывается с использованием формулы идеального газа, выраженной как функция от температуры и давления, которые могут быть легко измерены, и скорости ветра, которую тоже можно измерить.

11. Износ дорог. В [36, 37, 38, 39] представлены работы по моделированию износа тротуара и предотвращения такого износа, в том числе приведены методы, такие как расчет относительного влияния различных нагрузок на ось или годовое изменение в шероховатости как видно из формулы 10:

$$\Delta RI = K_{gp} [\Delta RI_s + \Delta RI_c + \Delta RI_r + \Delta RI_t] + \Delta RI_e, \quad (10)$$

где

ΔRI — общие дополнительные изменения шероховатости при годовом анализе, м/км IRI,

K_{gp} — калибровочный коэффициент прогрессии шероховатости,

ΔRI_s — постепенные изменения шероховатости из-за структурного ухудшения состояния в ходе годового анализа, м/км IRI,

ΔRI_c — постепенные изменения шероховатости из-за трещин при годовом анализе, м/км IRI,

ΔRI_r — постепенные изменения шероховатости из-за келейности при годовом анализе, м/км IRI,

ΔRI_t — постепенные изменения шероховатости из-за спелеологии при годовом анализе, в м/км IRI,

ΔRI_e — постепенные изменения шероховатости из-за окружающей среды при годовом анализе, м/км IRI.

12. Заключение. Приведенная в данной статье классификация моделей эколого-технологических объектов наземно-космического мониторинга и их описание являются обобщенным результатом исследований, проводимых в рамках проекта ИНФРОМ. Исследованные модели послужили основой для выбора природно-технологических объектов наземно-космического мониторинга в рамках проекта. Описание моделей, выбранных для реализации в проекте ИНФРОМ, предлагается в статье [40].

Литература

1. Merkurjev Y., Sokolov B., Merkurjeva G. "Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems," in Proceedings of the 14th International Conference on Harbor Maritime and Multimodal Logistics M&S, HMS 2012. September 19-21, 2012, Vienna, Austria, pp. 7–10.
2. Chormanski J., Okruszko T., Ignar S., Batelaan O., Rebel K.T., Wassen M.J. Flood mapping with remote sensing and hydrochemistry: A new method to distinguish the origin of flood water during floods // Ecological Engineering, Volume 37, Issue 9, September 2011, Pages 1334-1349
3. Spivak L., Arkhipkin O., Pankratov V., Vitkovskaya I., Sagatdinova G. Space monitoring of floods in Kazakhstan // Mathematics and Computers in Simulation, Volume 67, Issues 4–5, 3 December 2004, Pages 365-370

4. Syvitski J.P.M., Overeem I., Brakenridge G.R., Hannon M. Floods, floodplains, delta plains — a satellite imaging approach // *Sedimentary Geology*, Volumes 267–268, 1 August 2012, Pages 1-14
5. Kaiser J.W., Benedetti A., Flemming J., Heil A., Morcrette J.-J., Razingger M., Schultz M.G., van der Werf G.R., Wooster M.J., Xu W. Wildfire monitoring in the GMES atmospheric services developed by the MACC project // *Let's embrace space - Space Research achievements under the 7th Framework Programme*, pages 116–122. European Union.
6. Chuvieco E., Aguado I., Yebra M., Nieto H., Salas J., Martín M.P., Vilar L., Martínez J., Martín S., Ibarra P., de la Riva J., Baeza J., Rodríguez F., Molina J.R., Herrera M.A., Zamora R. Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies // *Ecological Modelling*, Volume 221, Issue 1, 10 January 2010, Pages 46-58
7. Grace K., Husak G.J., Harrison L., Pedreros D., Michaelsen J. Using high resolution satellite imagery to estimate cropped area in Guatemala and Haiti // *Applied Geography*, Volume 32, Issue 2, March 2012, Pages 433-440
8. Kok K., Veldkamp A. Evaluating impact of spatial scales on land use pattern analysis in Central America // *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 85, Issues 1–3, June 2001, Pages 205-221
9. Kirui K.B., Kairo J.G., Bosire J., Viergever K.M., Rudra S., Huxham M., Briers R.A. Mapping of mangrove forest land cover change along the Kenya coastline using Landsat imagery // *Ocean & Coastal Management*, In Press, Corrected Proof, Available online 16 December 2011
10. Weng Q. Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends // *Remote Sensing of Environment*, Volume 117, 15 February 2012, Pages 34-49
11. White J.W., Hoogenboom G., Kimball B.A., Wall G.W. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production // *Field Crops Research*, Volume 124, Issue 3, 20 December 2011, Pages 357-368
12. van Leeuwen W., Hutchinson C., Drake S., Doorn B., Kaupp V., Haithcoat T., Likholetov V., Sheffner E., Tralli D. Benchmarking enhancements to a decision support system for global crop production assessments // *Expert Systems with Applications*, Volume 38, Issue 7, July 2011, Pages 8054-8065
13. Li X., Damen M.C.J. Coastline change detection with satellite remote sensing for environmental management of the Pearl River Estuary, China // *Journal of Marine Systems*, Volume 82, Supplement, August 2010, Pages S54-S61
14. Kuleli T., Guneroglu A., Karsli F., Dihkan M. Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey // *Ocean Engineering*, Volume 38, Issue 10, July 2011, Pages 1141-1149
15. Ciavola P., Ferreira O., Haerens P., Van Koningsveld M., Armaroli C., Lequeux Q. Storm impacts along European coastlines. Part 1: The joint effort of the MICORE and ConHaz Projects // *Environmental Science & Policy*, Volume 14, Issue 7, November 2011, Pages 912-923
16. Ciavola P., Ferreira O., Haerens P., Van Koningsveld M., Armaroli C. Storm impacts along European coastlines. Part 2: lessons learned from the MICORE project // *Environmental Science & Policy*, Volume 14, Issue 7, November 2011, Pages 924-933
17. Zhang W., Harff J., Schneider R., Wu C. Development of a modelling methodology for simulation of long-term morphological evolution of the southern Baltic coast // *Ocean Dynamics*, 29 June 2010
18. Heinonen T., Pukkala T., Ikonen V.-P., Peltola H., Venäläinen A., Dupont S. Integrating the risk of wind damage into forest planning // *Forest Ecology and Management*, Volume 258, Issue 7, 15 September 2009, Pages 1567-1577

19. Zeng H., Talkkari A., Peltola H., Kellomäki S. A GIS-based decision support system for risk assessment of wind damage in forest management // *Environmental Modelling & Software*, Volume 22, Issue 9, September 2007, Pages 1240-1249
20. McWilliam W., Eagles P., Seasons M., Brown R. The housing-forest interface: Testing structural approaches for protecting suburban natural systems following development // *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 9, Issue 2, 2010, Pages 149-159
21. Carino N., Clifton J. Prediction of Cracking in Reinforced Concrete Structures. NISTIR 5634, 1995.
22. Simeonov B. Experimental investigation of the strength, stiffness and ductility of RC structural Walls. *World Conference on Earthquake Engineering – Vol 6* , P. 387-394. 1998
23. Ouzaa K., Benmansour M. Cracks in base-restrained plain and reinforced concrete walls. *Turkish J. Eng. Env. Sci.* – Vol 34, P. 215 – 230. 2010
24. Cubrinovski M., McCahon I. Foundations on Deep Alluvial Soils. Technical Report Prepared for the Canterbury Earthquakes Royal Commission. 2011.
25. Safronovs O., Ņikuljins V. Latvijas vispārīgās seismiskā rajonēšana. *Latvijas ģeoloģijas vēstis*, Nr. 6, 30 - 35. Lpp.. 1999.
26. Sheng-Huoo Ni, Chi-Chih Ko, Su-Yu Chen. Downhole monitoring instrumentation at Chingliao site and its monitoring data analysis. 4th International Conference on Earthquake Engineering. 2006.
27. Sheng-Huoo Ni, Win-Gee Huang, Feng-Yi Chen. The application of AFMM aided system identification on ground vibration monitoring data analysis. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. 2008.
28. Sheng-Huoo Ni, Chi-Chih Ko. Downhole monitoring instrumentation for the site liquefied during Chi-Chi earthquake at Chingliao, Tainan, Taiwan. U.S.-Taiwan Workshop on Soil Liquefaction. 2003.
29. Kostadinov M., Yamazaki F. Detection of soil liquefaction from strong motion records. *Engineering and structural dynamics*, P. 173-193. 2001.
30. Celso Penche. Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant. European Small Hydropower Association. 2004
31. Calculating the amount of available power. GGS Ingenieria. 2012. <http://ggsingenieria.blogspot.com/2012/05/calculating-amount-of-available-power.html>
32. Close G., Lee C., Moore R. etc. Water level monitoring from space. The Netherlands: European Space Agency (ESA), ESA SP 458, P.105-111. 2000.
33. Wind Turbine Power Calculations. The Royal Academy of Engineering. http://www.raeng.org.uk/education/diploma/maths/pdf/exemplars_advanced/23_Wind_Turbine.pdf
34. Calculations for wind energy statistics. RenewableUK. 2010. <http://www.bwea.com/edu/calcs.html>
35. Calculating the mean power. Windpower program. http://www.wind-power-program.com/mean_power_calculation.htm
36. Viton P. Understanding Road Wear and its Causes. The Ohio State University, City and Regional Planning 776 Lecture Notes. 2011.
37. Hjort M., Haraldsson M., Jansen J. Road wear from Heavy Vehicles. Report nr. 08/2008 NVF committee Vehicles and Transports. 2008.
38. Modelling the Marginal Cost of Road Wear. National Transport Commission. 2011.
39. Road Pavement Management. Discussion paper. His Majesty's government of Nepal ministry of works and transport department of roads. 1995.
40. Petuhova J., Lektauers A., Zelentsov V. Classification of Natural-Technogenic Objects in Remote Sensing Applications // *Proceedings of the 14th International Conference on Harbor Maritime and Multimodal Logistics M&S, HMS 2012*. September 19-21, 2012, Vienna, Austria, pp. 91–95.

Романов Андрей Васильевич — д-р инж.наук, асоц.проф. кафедры моделирования и имитации Рижского технического университета. Область научных интересов: моделирование и проектирование информационных систем управления, стратегическое управление информационными технологиями, интегрированные информационные технологии в логистике и электронной коммерции, а также образование в этих сферах. Число научных публикаций — 42. andrejs.romanovs@rtu.lv, <http://www.itl.rtu.lv/mik/?id=225>; ПТУ, ул. Калкю, 1, Рига, LV-1658, Латвия; р.т. +371-67089514, факс +371-67089513.

Romanovs Andrejs — Dr.sc.eng., assoc.prof. of the Department of Modelling and Simulation of Riga Technical University (RTU). Research interests: modeling and design of management information systems, IT governance, integrated information technologies in logistics and electronic commerce, as well as education in these areas. The number of publications — 42. andrejs.romanovs@rtu.lv, <http://www.itl.rtu.lv/mik/?id=225>; RTU, Kalku Str. 1, Riga, LV-1658, Latvia; office phone +371-29454253, fax +371-67089513.

Лектауэрс Арнис Илмарович — д-р инж.наук, доцент кафедры имитационного моделирования Рижского технического университета. Область научных интересов: разработка интерактивных гибридных алгоритмов имитационного моделирования с применением в анализе сложных систем, и в изучении индустриальных, экономических, экологических проблем, а также задач устойчивого развития. Число научных публикаций — 19. arnis.lektauers@rtu.lv; ПТУ, ул.Калкю, 1, Рига, LV-1658, Латвия; р.т. +371-67089514, факс +371-67089513.

Lektauers Arnis — Dr.sc.eng., assistant professor of the Department of Modelling and Simulation of Riga Technical University (RTU). Research interests: development of interactive hybrid modelling and simulation algorithms with an application to complex systems analysis and the research of industrial, economic, ecological and sustainable development problems. The number of publications — 19. arnis.lektauers@rtu.lv; RTU, Kalku Str. 1, Riga, LV-1658, Latvia; office phone +371-67089514, fax +371-67089513.

Меркурьева Галина Васильевна — д-р технических наук, проф. кафедры имитационного моделирования Рижского технического университета (ПТУ). Область научных интересов: имитационное моделирование, имитационное метамоделирование и оптимизация, метаэвристическая оптимизация, принятие решений и нечеткие множества, логистика и управление цепями поставок, деловые имитационные игры. Число научных публикаций — 180. gm@itl.rtu.lv, <http://www.itl.rtu.lv/mik/?id=215>, ПТУ, ул. Калкю, 1, Рига, LV-1658, Латвия; р.т. +371-26428694, факс +371-67089513.

Merkurjeva Galina — Dr.habil.sc.eng, Professor, Department of Modelling and Simulation, Institute of Information technologies, Riga Technical University (RTU). Research interests: simulation modelling, simulation metamodeling, simulation optimization, metaheuristics optimization, multicriteria decision-making, fuzzy sets and systems, logistics and supply chain management, business simulation games. The number of publications around 180. gm@itl.rtu.lv, <http://www.itl.rtu.lv/mik/?id=215>; RTU, Kalku Str. 1, Riga, LV-1658, Latvia; office phone +371-29454253, fax +371-67089513.

Чумик Алексей Александрович — младший научный сотрудник кафедры имитационного моделирования Рижского технического университета (ПТУ). Область научных интересов: моделирование информационных систем, стратегическое управление инфор-

мационными технологиями, электронная коммерция и социальные сети. Число научных публикаций — 2. aleksejs.cumiks@rtu.lv; ПТУ, ул. Калкю, 1, Рига, LV-1658, Латвия: р.т. +371-26428694, факс +371-67089513.

Cumiks Aleksejs — junior researcher, Department of Modelling and Simulation of Riga Technical University (RTU). Research interests: modeling of information systems, IT governance, electronic commerce and social networks. The number of publications — 2. aleksejs.cumiks@rtu.lv; RTU, Kalku Str. 1, Riga, LV-1658, Latvia: office phone +371-29454253, fax +371-67089513.

Потрясаев Семен Алексеевич — к.т.н., старший научный сотрудник СПИИРАН. Потрясаев С.А. специалист в области системного анализа и исследования операций. Область научных интересов: разработка научных основ теории управления структурной динамикой сложных организационно-технических систем. Автор более 30 научных трудов. semp@mail.ru; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812)328-0103, факс: +7 (812) 328-44-50.

Potryasaev Semen Alekseevich — Ph.D., Leading Researcher, SPIIRAS. Potryasaev S.A. is a specialist in the field of systems analysis and operations research. Research interests: development of research fundamentals for the control theory by structural dynamics of complex organizational-technical systems. The number of publications more than 30. semp@mail.ru; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328-0103, fax: +7(812)328-4450.

Рогачев Сергей Александрович — аспирант кафедры компьютерной математики и программирования Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП); инженер СПИИРАН. Область научных интересов: разработка и исследование интегрированной интеллектуальной системы наземно-космического мониторинга и прогнозирования наводнений. Число научных публикаций — 1. rogachev.seal@gmail.com; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812) 328-0103, факс +7(812) 328-4450. Научный руководитель — В.А. Матяш.

Rogachev Sergei Alexandrovich — postgraduate student chair of computer mathematics and programming of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education, St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI); an engineer, SPIIRAS. Research Interests: Research and development of an integrated intelligent system ground-space monitoring and flood forecasting. The number of scientific publications — 1; rogachev.seal@gmail.com; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812) 328-0103, fax +7(812) 328-4450. Scientific Director – V.A. Matias.

Поддержка исследований. Данное исследование поддержано проектом 2.1/ELRI - 184/2011/14 «Комплексная интеллектуальная платформа для мониторинга международных природно-технических систем» как частью «Программы приграничного сотрудничества Эстонии-Латвии-России в рамках Европейского инструмента Добрососедства и Партнерства 2007-2013».

Рекомендовано СПИИРАН, директор Юсупов Р.М., чл.-корр. РАН.
Статья поступила в редакцию 14.05.2013.

РЕФЕРАТ

Романов А.В., Лектауэрс А.И., Меркурьева Г.В., Чумик А.А., Потрясаев С.А., Рогачев С.А. **Обобщенное описание и классификация моделей эколого-технологических объектов наземно-космического мониторинга.**

Мониторинг окружающей среды имеет важнейшее значение в современном мире для обеспечения безопасного и комфортного проживания людей, он позволяет понять, как меняется наша планета и ее климат, какую роль в этих изменениях играют антропогенные и техногенные факторы. Для мониторинга и прогнозирования используются различные методологии и модели принятия решений; данная статья представляет собой обзор наиболее интересных моделей наземно-космического мониторинга эколого-технологических объектов, рассмотренных в рамках международного проекта ИНФРОМ.

Разрабатываемая в рамках проекта технология предполагает создание интеллектуальной платформы для обработки и использования результатов как космического, так и наземного мониторинга. При этом предусматривается формирование единого информационного пространства для мониторинга природно-технологических объектов приграничных государств, что обеспечит существующие потребности органов самоуправления и населения в объективной информации о состоянии окружающей среды для использования в образовании, науке, бизнесе, ситуационном управлении, а также послужит дополнительным независимым источником оперативной информации о природных или технологических опасных процессах.

Информация для мониторинга обычно получается из различных источников данных, таких как биометрические, аэрокосмические и другие системы контроля, наблюдения и учета, и, таким образом, она является гетерогенной по своей природе (электрические сигналы, графическая, аудио, видеoinформация, тексты и т. п.). Таким образом, принимая во внимание сложность и многофункциональность современных природно-технологических систем, их мониторинг должен производиться в условиях крупномасштабных гетерогенных наборов данных. В настоящее время мониторинг и контроль природно-технологических систем по-прежнему не полностью автоматизирован. Мониторинг технологических объектов позволяет наблюдать изменения в этих объектах для того, чтобы оптимизировать процессы, связанные с объектами, предотвращать события, приводящие к повреждению объектов; определить области, которые влияют на работу объекта; оценить финансовые, экологические и другие характеристики данных объектов. Для мониторинга и прогнозирования используются различные методологии и модели принятия решений — землепользование по классификации спутниковых снимков, гидрологический анализ данных, интеграция данных дистанционного исследования и гидрологического анализа данных. При проведении исследований наибольшее внимание было уделено исследованиям экологических систем в условиях риска.

SUMMARY

Romanovs A.V., Lektavers A.I., Merkurjeva G.V., Cumiks A.A., Potryashev S.A., Rogachev S.A. **General description and classification of the models of ecological and technological objects ground-space monitoring.**

Environmental monitoring is essential in modern world to ensure a safe and comfortable peoples living, it helps to understand how changes the planet and its climate, what role for these changes play anthropogenic and technological factors. Monitoring and forecasting uses different methodologies and models of decision making; this paper provides an overview and classification of the most interesting models of ground-space monitoring of environmental and technological objects, which have been studied in the framework of the project INFROM «Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems. Developed within the project INFROM technology involves the creation of an intellectual platform for the processing and use of the results of both ground-and space monitoring. Project provides the development of a common information space to monitor natural and technical objects-border states, providing for the government and the public topical environmental information for use in education, science, business, case management, and will also provide additional independent source of operational information on natural and technological hazards processes.

The monitoring information regarding incidents and disasters is received typically from different data sources (e.g. biometric systems, aerospace systems, etc.), and, therefore, it is heterogeneous by nature (e.g. electrical signals, graphical, audio, video information, text, etc.). Thus, since modern natural-technological objects are very complex and multifunctional ones, their monitoring should be performed in conditions of large-scale heterogeneous data sets. Currently, the monitoring and control of natural and technological systems are still not fully automated. The monitoring of technological objects allows observing the changes in these objects in order to: optimize the processes associated with the objects; to prevent the events that lead to the damage of the objects; identify areas that affect the operation of the facility; assess the financial, environmental, or other characteristics of the given objects.

For monitoring and forecasting of ecological objects and processes there are used different decision-making methodologies and models based on land use classification of satellite images, the hydrological data analysis, integration of remote sensing data and hydrological analysis results. During the research, the greatest attention was paid to the study of ecological systems at risk conditions. The paper provides an overview of such monitoring methods and systems as flood mapping systems, fire monitoring system in different areas, land use monitoring systems, automatic detection systems of shoreline change, forest cover change monitoring systems, systems for monitoring of cracks and damage to supporting walls, systems for monitoring of the soil conditions in a result of water damage, systems for calculation of the number of available power plant power, systems for calculation of the amount of available energy for wind power generators.