ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ОТЧЕТ
об основных результатах 2012 года
по партнерскому проекту фундаментальных исследований СО РАН № 74
«**Разработка принципов и информационно-вычислительных технологий обработки и интерпретации мультиспектральных спутниковых изображений высокого и сверхвысокого пространственного разрешения (для наук о Земле, экологии и природопользования)**»

Научные координаторы проекта:	академик, зам. директора ИАПУ ДВО РАН Левин В.А. д.т.н., зам. директора ИАиЭ СО РАН Потатуркин О.И.
Ученый секретарь проекта	к.ф.-м.н., зав. лабораторией ИВТ СО РАН Пестунов И.А.

Организации исполнители:
ИАиЭ СО РАН, ИВТ СО РАН, ИДСТУ СО РАН, ИВМ СО РАН, ИЛ СО РАН, ИВЭП СО РАН, ИАПУ ДВО РАН, ТИГ ДВО РАН.

В соответствии с основной целью проекта в 2012 году проводились научные исследования в следующих направлениях:

– развитие математических методов и разработка алгоритмов анализа и интерпретации спутниковых изображений высокого и сверхвысокого пространственного разрешения;

– разработка и внедрение в виде веб-сервисов проблемно-ориентированных технологий анализа спутниковых данных высокого и сверхвысокого разрешения;

– создание технологий использования спутниковых изображений высокого разрешения для отслеживания пространственно-временной динамики различных процессов природного и техногенного характера.

За отчетный период получены следующие основные результаты.

Важнейший результат

Предложен двухэтапный метод сегментации спутниковых изображений высокого разрешения на основе совместной обработки спектральных, текстурных и структурных признаков, с использованием непараметрических алгоритмов кластеризации (рис. 1). На первом этапе производится классификация исходных изображений по спектральным признакам и формирование пространственных масок по характеристикам локальной структуры изображений, а на втором – сегментация полученных картосхем по текстурным признакам с учетом построенных масок. Такой подход позволяет избежать традиционных проблем, связанных необходимостью введения единой метрики для спектральных и пространственных признаков. (ИАиЭ СО РАН, ИВТ СО РАН)

Часть 1. Развитие математических методов и разработка алгоритмов анализа и интерпретации спутниковых изображений высокого и сверхвысокого пространственного разрешения (ИАиЭ СО РАН, ИДСТУ СО РАН, ИВТ СО РАН)

В ИВТ СО РАН подготовлен аналитический обзор, посвящённый алгоритмам кластеризации и возможности их применения к задачам сегментации спутниковых изображений.

Разработан и исследован вычислительно эффективный метод сегментации мультиспектральных спутниковых изображений, использующий как спектральные, так и текстурные признаки. Метод основан на использовании непараметрических алгоритмов кластеризации. Основная его идея заключается в разделении процесса сегментации на два этапа. На первом этапе производится сегментация исходного изображения по спектральным признакам, а на втором – сегментация полученной картосхемы по текстурным признакам. Такой подход позволяет избежать традиционных кластеризационных трудностей, связанных с введением единой метрики для спектральных и текстурных признаков.

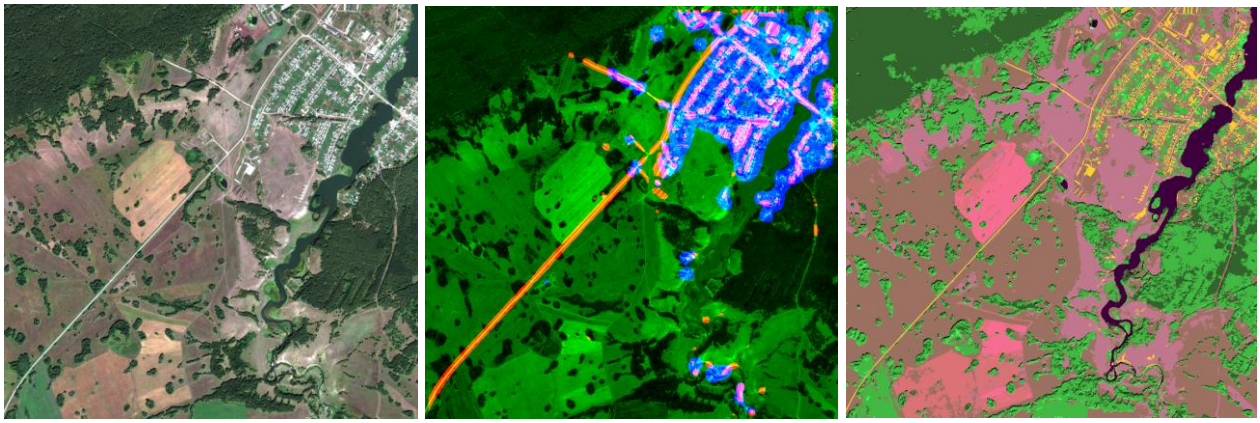


Рис. 1. Спектрально-текстурная сегментация изображений с учетом структурных особенностей
а – исходный RGB-композит (каналы 5, 3, 2) изображения WorldView 2, б – маски по функциям отклика угол (синий цвет) и край (красный цвет), в – результат комбинированной сегментации.

Для реализации первого этапа предлагается использовать вычислительно эффективный ансамблевый алгоритм кластеризации ECCA [Пестунов И.А., Бериков В.Б., Куликова Е.А., Рылов С.А. Ансамблевый алгоритм кластеризации больших массивов данных // Автометрия. 2011. Т. 47. № 3. С. 49-58]. Алгоритм ECCA позволяет разбить изображение на однородные по спектральным признакам области без какого-либо учета текстурных характеристик. Поэтому при обработке спутниковых данных высокого разрешения количество спектральных кластеров, присутствующих на картосхеме, значительно превышает количество искомых информационных классов.

На втором этапе обработки используются пространственные признаки. Для этого картосхема разбивается на квадратные фрагменты. Каждому из таких фрагментов сопоставляется вектор признаков, характеризующий частоту встречаемости выделенных на первом этапе спектральных кластеров среди элементов рассматриваемого фрагмента. Затем из полученных векторов формируются кластеры.

Границы однородных текстурных областей, выделенных на картосхеме, являются очень грубыми. Для их уточнения последовательно рассматриваются пограничные элементы всех выделенных текстурных областей и содержащие их фрагменты. Рассматриваемый пограничный элемент может либо остаться в текущей области, либо переместиться в смежную область (если спектральный кластер, к которому он отнесен, чаще встречается в текстурном кластере смежного фрагмента, чем в содержащем его). После этого рассматриваемый элемент считается частью границы той области, к которой он отнесен. Процесс продолжается до тех пор, пока все пограничные элементы всех текстурных областей не будут рассмотрены.

Разработанные методы и алгоритмы прошли апробацию на мультиспектральных данных, полученных со спутников QuickBird и WorldView-2 (рис. 2).

Проведено экспериментальное исследование информативности систем текстурных признаков, основанных на гистограмме абсолютных разностей (GLD) и матрице смежности градаций серого тона (GLCM), а также авторегрессионной модели SAR и гауссовской марковской модели случайных полей GMRF. Результаты экспериментов показали, что при наличии большого числа текстурных классов точность классификации можно повысить путем комбинирования указанных выше методов. Кроме того, по их результатам можно также сделать

следующие выводы: при классификации спутниковых изображений наилучшее качество обеспечивает статистический метод GLCM, использование модельных методов GMRF и SAR нецелесообразно ввиду их вычислительной трудоемкости.

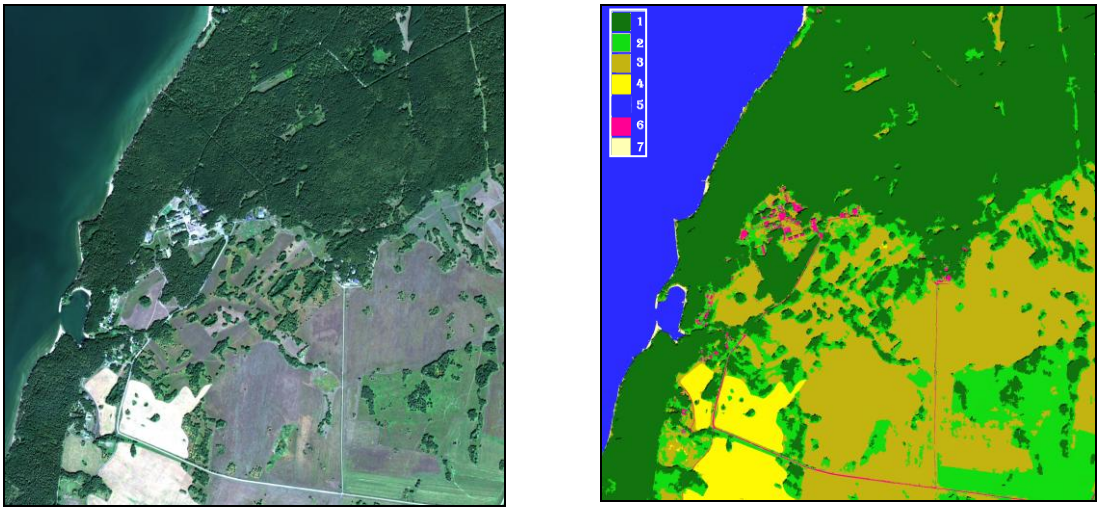


Рис. 2. RGB-композит (каналы 5, 3, 2) исходного изображения WorldView 2 (слева). Размер изображения 2048×2048 пикселей. Справа – картосхема, полученная в результате спектрально-текстурной сегментации изображения. Время обработки 1.5 с. Обозначения: 1 – лесные территории, 2 – трава, 3 – незасеянные поля и пустоши, 4 – сельскохозяйственные посевы, 5 – вода, 6 – здания, сооружения, дороги, 7 – песок.

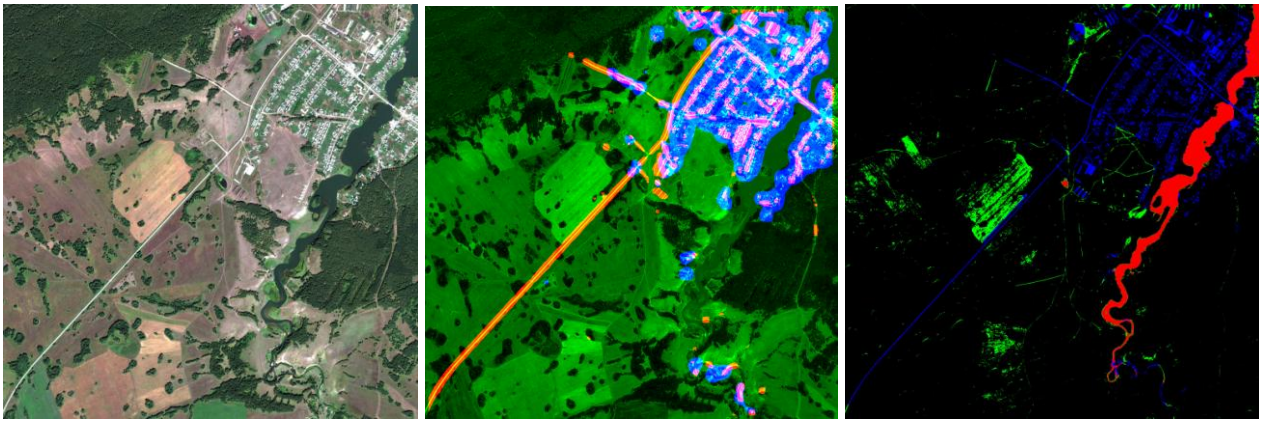
В ИАиЭ СО РАН исследована возможность использования спутниковых снимков высокого разрешения для выделения антропогенных зон на основе совместного применения спектральных и пространственных (структурных и текстурных) признаков. На базе программного комплекса ENVI и языка программирования IDL выполнена программная реализация метода формирования тематических слоев, характеризующих локальную структуру изображений. Разработан инструментарий для определения эффективности пространственных признаков (при разделении задаваемых классов) по обучающей выборке фрагментов и путем сравнения с маской, предварительно сформированной экспертом. На примере обработки изображений спутников QuickBird и WorldView исследована эффективность поиска антропогенных зон при использовании статистических признаков (первого и второго порядка), фрактальной размерности, структурных признаков, сформированных на основе детектора Харриса. Показано, что при решении данной задачи структурные признаки более информативны по сравнению со статистическими. Так наиболее эффективный признак из статистических (data range) обеспечивает достоверность обнаружения 92% для снимка QuickBird и 87% для WorldView, тогда как исследуемые структурные признаки – 95-97% и 89-92%, соответственно.

Выполнены исследования зависимости эффективности статистических и структурных признаков при обнаружении антропогенных зон от разрешения анализируемых изображений. Показано, что с увеличением разрешения от 10 м до 2.5 м разделимость классов (по критерию «расстояние до ближайшего соседа») по указанным признакам возрастает в 5 раз и более, эффективность же статистических признаков при этом изменяется незначительно.

Предложен метод обнаружения на естественном фоне объектов техносферы путем поиска структурных аномалий в спутниковых изображениях высокого разрешения. На этой основе разработан и реализован программно-алгоритмический инструментарий, обеспечивающий эффективную классификацию изображений за счет совместного анализа тематических слоев, характеризующих их спектральные и пространственные свойства (рис. 3).

Исследована возможность использования космических изображений высокого разрешения для контроля и прогнозирования развития процесса разрушения берегов искусственных водоемов. Учитывая, что интенсивность этого процесса в значительной степени зависит от их

крутизны и высоты, предложен и апробирован на изображении со спутника SPOT 4 метод формирования тематического слоя, характеризующего угол наклона дна прибрежной зоны. Оценка наклона осуществляется путем определения изменения положения границы вода-суша на изображениях, полученных в течение одного сезона при различном наполнении водохранилища. С учетом разрешения изображений (20 м) и типичного сезонного изменения уровня наполнения (4 – 5 м) данный метод позволяет классифицировать различные участки береговой линии по наклону в диапазоне 0.4° – 10° (типичные углы наклона для берегов искусственных водоемов порядка 2-3°) (рис. 4).



а б в

Рис. 3. Классификация изображений: а – обрабатываемое изображение, б – сегментация по функциям отклика угол (синий цвет) и край (красный цвет), в – комбинированная классификация: черным - растительность, зеленым - голые почвы, красным – вода, синим – объекты неприродного происхождения.

Для решения задачи автоматического обнаружения тепловых объектов по изображениям инфракрасного диапазона в реальных условиях предложено использовать метод поиска пространственно-временных аномалий, основанный на определении степени несоответствия признаков отдельных фрагментов распределению значений признаков, полученному по всему изображению. Вычисление признаков при этом предложено осуществлять на основе сравнения яркости и пространственного градиента яркости центральной и периферийной зон фрагментов, как в исходных изображениях, так и после подавления стационарной составляющей (в разностных кадрах). Разработан и реализован программно-алгоритмический инструментарий, предназначенный для предварительной обработки изображений (в т.ч. коррекции остаточной неоднородности ФПУ, многокадрового подавления шума с блочной компенсацией движения) и обнаружения динамических малоразмерных тепловых объектов в реальной обстановке.

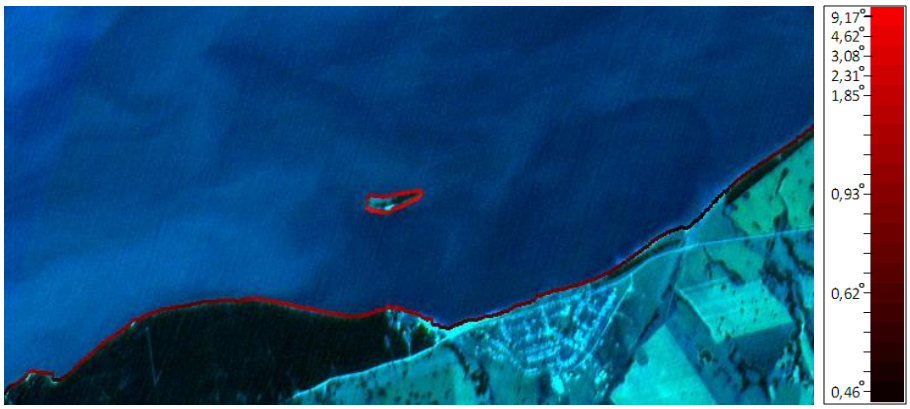


Рис. 4. Фрагмент изображения территории в районе села Быстровка с обозначением угла наклона дна прибрежной зоны.

В ИДСТУ СО РАН исследования были направлены на развитие логико-структурного метода распознавания объектов. Для расширения класса распознаваемых на изображении

объектов добавлены следующие предикаты: сравнение текстур, поиск объектов круглой формы. С помощью предикатов осуществляется поиск объектов соответствующей формы в рамках определенных ограничений. Оценка возможного положения альтернативы примитива, т.е. вычисление функции принадлежности, производится на основе сравнения двух областей, прилегающих вдоль границы примитива.

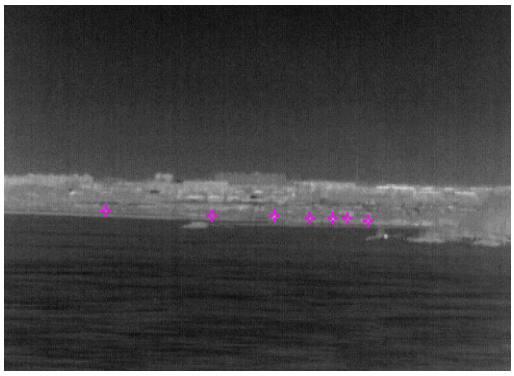


Рис. 5. Обнаружение объектов техники в условиях реальной фоноцелевой обстановки (дальность 5.6 км).

$circle(s,r)$ – предикат для поиска объектов круглой формы. Переменные: s – центр окружности, r – радиус окружности.

$comparetexture(o_1,o_2)$ – предикат для сравнения текстур двух объектов. Переменные o_1,o_2 – сравниваемые объекты.

В методе распознавания улучшена скорость процедуры поиска объектов. Процедура поиска объекта в рамках метода строится как логический вывод цели. Механизм логического вывода Пролога реализует алгоритм поиска в глубину. В процессе вывода последовательно производится унификация набора фрагментов границы объекта s_1^1, s_1^2 ,…, s_k^1, s_k^2 , удовлетворяющих пространственным отношениям. Каждый возможный фрагмент границы объекта имеет значение функции принадлежности $\mu_i = \mu\ s_i^1, s_i^2$. Процедуру распознавания объектов можно представить как поиск пути с минимальным значением функции энергии $L(\mu_1,...,\mu_k)$. Многие объекты распознавания на изображении не могут пересекаться, например здания, открытые бассейны и т.д. Поэтому для повышения эффективности по времени в методе применен алгоритм A*. Получив некоторое значение функции энергии в определенной области, можно отбрасывать ветви поиска объекта в этой же области, заведомо не содержащие значение функции энергии лучше полученного значения (рис. 6).

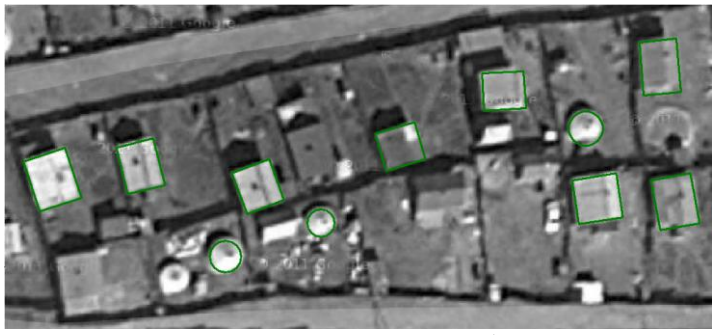


Рис. 6. Результат применения метода к изображению GOOCLE.

Часть 2. Разработка и внедрение в виде веб-сервисов проблемно-ориентированных технологий анализа спутниковых данных высокого и сверхвысокого разрешения (ИВМ СО РАН, ИВТ СО РАН, ИДСТУ СО РАН).

Исследования ИВМ СО РАН в 2012 году были направлены на формирование программно-технологического обеспечения проекта: подсистемы хранения геоданных, управления

метаданными, картографической веб-визуализации, авторизации и управления контентом. Базовой технологией, связывающей эти подсистемы в единое целое, стали прикладные веб-сервисы. Весь комплекс проектируемых приложений и сервисов рассматривается как специализированный геопортал для презентации, обработки и интерпретации мультиспектральных спутниковых изображений высокого разрешения.

В комплекс программных средств для обработки геопространственных данных через веб-интерфейс добавлены инструменты, позволяющие определенной группе пользователей редактировать векторные объекты (добавление, удаление и модификация объектов, редактирование атрибутивной информации), через стандартный интерфейс веб-браузера. Редактируемые данные могут храниться в СУБД PostgreSQL с использованием пространственного расширения PostGIS, что позволит работать с такими данными с помощью различных настольных ГИС, например QuantumGIS.

Проектируемый интерфейс клиентского веб-приложения информационной системы можно условно разделить на 2 части:

– интерфейс пользователя, содержащий информацию в текстовом и табличном виде;

– интерактивная карта, обеспечивающая пользователя средствами картографического выбора, визуальной информацией о расположении объектов на местности.

Интерфейс пользователя построен на основе программного обеспечения Sencha (ранее ExtJS) – JavaScript-библиотеки для разработки веб-приложений и пользовательских интерфейсов, которая использует адаптеры для доступа к инструментальным средствам Yahoo! UI Library, jQuery или Prototype/script.aculo.us. Поддерживает технологию AJAX, анимацию, работу с DOM (DocumentObjectModel – «объектная модель документа»), реализацию таблиц, вкладок, обработку событий и все остальные новшества технологии «Веб 2.0». Использование этой библиотеки при разработке системы позволило значительно сократить время на подготовку интерфейса пользователя.

При разработке картографического компонента веб-интерфейса проанализированы два способа представления картографической информации для пользователя. Первый способ – карта отображается с использованием фрагментов (tile). Эту технологию используют многие популярные ресурсы, такие как GoogleMaps (http://maps.google.com/), Яндекс Карты (http://maps.yandex.ru/), MicrosoftBingMaps (http://www.bing.com/maps/) и др. Основным преимуществом такого способа является скорость получения визуальной информации пользователем и малая нагрузка на сервер при отображении статической информации. Процесс формирования карты на клиентском компьютере состоит из нескольких этапов, с использованием дополнительных программных потоков, механизма кэширования, очереди загрузки фрагментов, и др. Результатом работы перечисленных технологий является быстрая и эффективная визуализация карты в браузере пользователя; процесс ее загрузки оптимизирован, нагрузка на веб-браузер равномерно распределена по времени. Однако при отображении меняющихся тематических данных такой способ снижает скорость доступа пользователя к геоданным и увеличивает нагрузку на сервер. Для решения этой проблемы используется второй способ отображения информации – по запросу пользователя генерируется одно растровое изображение. В зависимости от типа представляемой информации пользователю в программном интерфейсе системы используется комбинация этих двух способов (рис. 7).

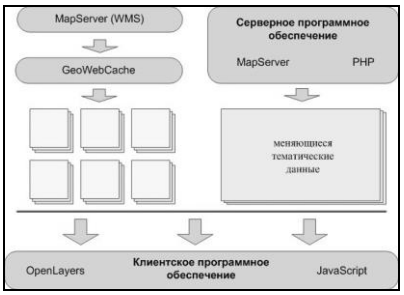


Рис. 7. Формирование карты для веб-приложения.

При разработке серверной части веб-приложения для информационных систем используется программное обеспечение MapServer. Для создания карты из фрагментов использовалось программное обеспечение GeoWebCache. Программное обеспечение MapServer используется для создания WMS и WCS сервисов, которые в дальнейшем обеспечат доступ к каталогу спутниковых изображений в пределах геопортала ИВМ СО РАН в соответствии с общепринятыми стандартами и технологиями, разрабатываемыми консорциумом OGC (Open Geospatial Consortium). Дополнительно такие сервисы послужат основой для создания тайловых карт (карт из растровых фрагментов) с помощью программного обеспечения GeoWebCache, которые могут использоваться в различных веб-приложениях. В таких веб-приложениях спутниковые изображения могут использоваться в качестве вспомогательного слоя для анализа других пространственных данных.

Исходными данными для базовых карт на основе спутниковых изображений и векторных слоев являются файлы растровых форматов tiff, geotiff, jpeg, png и др., векторных данных в формате shapeArcView и tabMapInfo. В результате исследования производительности сервера на основе выбранного программного обеспечения выявлено, что в качестве источника векторных данных лучше использовать файлы в формате shapeArcView, т.к. скорость формирования растрового изображения для WMS-сервиса значительно выше, чем при использовании файлов в формате tabMapInfo.

В результате объединения различных технологий и программного обеспечения представления карты пользователю на стороне клиента реализован вариант, в котором карта состоит из двух слоев: подложка и тематический слой. В качестве слоя подложки используется карта, построенная на основе маленьких растровых изображений (тайлов) размером 256x256 пикселей. Вторая часть карты (тематический слой) накладывается поверх слоя подложки в виде полупрозрачного растрового изображения.

Для управления различными подложками на основе фрагментов разработан сервер и набор веб-сервисов, а также подготовлено программное обеспечение на стороне клиента, состоящее из следующих модулей:

− модуль оператора – создание обновлений кэша тайлов для карт (область обновления, список измененных слоев карт);

− модуль администрирования – управление пользователями, запуск обновлений после проверки, запуск служебных обновлений кэша тайлов, создание, удаление и редактирование карт на WMS и GeoWebCache серверах, а также мониторинг удаленных «серверов обновлений»;

− просмотр обновлений – просмотр выполненных, обрабатываемых обновлений для выбранной карты и ожидающих запуска в очереди;

− модуль актуализации дополнительных удаленных «серверов обновлений», созданных для работы в виртуальных частных сетях (VPN –Virtual Private Network).

В 2012 году в геопортал добавлена поддержка слоев и карт в формате Map Guide Open Source (MGOS), размещенных на других серверах. Импортирован список ресурсов с удаленного сервера MGOS. Создан сервис автоматической загрузки пространственной информации о ресурсах в формате MapGuide. Улучшена работа со сторонними WMS ресурсами. Исправлены ошибки при импорте слоев, а также восстановлена работа с растровыми изображениями в формате PNG на уровне библиотеки GDAL. В картографическом интерфейсе геопортала добавлена возможность просмотра тематической легенды слоя с WMS-сервера, если такая возможность предусмотрена удаленным сервером. В каталоге геопортала ИВМ СО РАН появилась возможность регистрации карт из фрагментов растровых изображений и подключение карт к другим ресурсам каталога в качестве растровой подложки.

В ИДСТУ СО РАН разработана технология, обеспечивающая любому пользователю сети Интернет доступ к алгоритмам обработки данных дистанционно зондирования.

Основой технологии является использование Web Processing Service (WPS) – стандарт, разработанный Открытым Геопространственным Консорциумом (Open Geospatial Consortium).

WPS определяет протокол взаимодействия с сервисами, формат входных и выходных данных, требуемых для выполнения удаленного процесса на WPS-сервере и т.д. Основным достоинством этого стандарта является надежность по отношению к сбоям сети, ориентированность на использование пространственных данных. В качестве WPS-сервера выбран Zoo-Project – проект с открытым исходных кодом, предоставляющий широкие возможности для организации взаимодействия различных программ через веб-интерфейс. Zoo-Project – проект поддерживает WPS-стандарт версии 1.0.

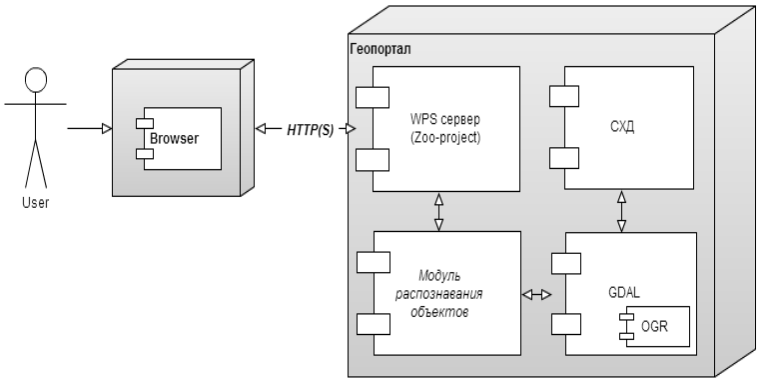


Рис. 8. Основные компоненты, реализующие технологию.

В технологической цепочке можно выделить следующие этапы.

Загрузка данных. Для обработки данных пользователь должен загрузить их на геопортал. Данные должны иметь пространственную привязку. Хранение данных пользователей осуществляется на основе СХД SAN ReadyStorage 3994. Каждому пользователю предоставляется директория в рамках СХД. Пользователь может загрузить данные, используя файловый менеджер или FTPS-клиент.

Выбор метода, настройка входных и выходных параметров сервиса и формирование тематических слоев. В рамках геопортала реализован каталог сервисов, предназначенный для регистрации WPS-методов. Предполагается, что новые методы обработки данных, реализованные в соответствии со стандартом WPS, можно зарегистрировать в каталоге. После регистрации методы становятся доступным в разработанной технологии. В каталоге можно выбрать требуемый метод. Для выбранного метода генерируется интерфейс ввода параметров, в котором можно указать исходные данные из СХД. Результаты выполнения сервисов обработки ДЗЗ могут сохраняться в виде векторных слоев в СХД.

Отображение результатов. Для отображения результатов разработан модуль, который позволяет отображать пространственные данные в различных форматах, доступных с помощью библиотеки GDAL. В частности векторные файлы в формате SHP и данные СУБД PostgresSQL, растровый данные в формате GeoTIFF. Модуль основывается на библиотеках OpenLayers, Mapserver.

В ИВТ СО РАН установлена и настроена реализация WPS-сервера на основе платформы 52North, веб-сервера Apache Tomcat и OS Linux. В систему веб-сервисов интегрированы алгоритмы сегментации многоспектральных изображений и выделения текстурных признаков.

В систему добавлена также поддержка пакета GRASS 7. Модули из пакета GRASS 7 доступны для использования в качестве WPS-процессов.

Проведено исследование различных клиентских реализаций протокола WPS (рассмотрены реализации для OpenLayers, uDIG, OpenJUMP, Quantum GIS).

Для клиента Quantum GIS исправлена ошибка, связанная с загрузкой растровых изображений в среде Windows. Ведутся работы по обеспечению возможности загрузки файлов по протоколу FTP.

На скриншоте (рис. 9) показаны сервисы, предоставляемые WPS-сервером ИВТ СО РАН (используется клиент Quantum GIS на OS Ubuntu).

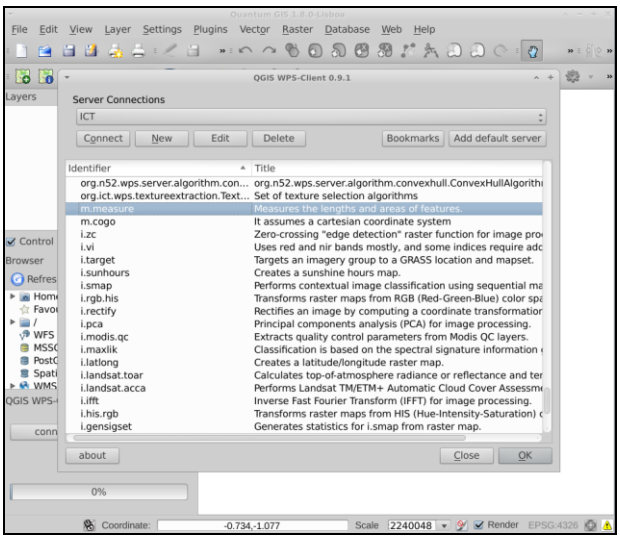


Рис. 9

Часть 3. Создание технологий использования спутниковых изображений высокого разрешения для отслеживания пространственно-временной динамики различных процессов природного и техногенного характера.

В ИВЭП СО РАН выполнен первичный сбор и обработка данных гидрологических наблюдений (расходы-уровни) для Верхней Оби по г/п Барнаул за периоды половодий для последнего десятилетия. В районе г. Барнаула выбраны 3 тестовых участка (районы поселков Затон и Ильича, территории «Зеленый клин») (рис. 10) и выполнено их рекогносцировочное обследование (май-июнь). Подготовлен картографический материал (М 1:25000) на тестовые участки (Зеленый клин и п. Ильича), выполнена его оцифровка, построены ЦМР поймы. Для участка поймы ниже старого железнодорожного моста г. Барнаула до устья р. Чумыш построена цифровая модель местности. С использованием цифровых моделей рельефа (местности) на основе нестационарных гидродинамических 1DH- и 2DH-моделей течений построены компьютерные модели процесса затопления-опорожнения тестовых пойменных участков для проведения расчетов и дальнейшего сопоставления расчетных и натурных данных; расчетных данных и ДДЗ. Выполнены вариантные расчеты процесса затопления поймы в 2010-2011 гг. Расширенная цифровая модель поймы (рельеф и растительность) позволяет исследовать влияние растительности как дополнительного фактора для уточнения коэффициента сопротивления («шероховатости») подстилающей поверхности.

Построена уточненная нестационарная компьютерная 2DH-модель процесса затопления-опорожнения пойменной территории Верхней Оби для трех тестовых участков. Выполнены расчеты половодья для 2010-2011 гг. На рисунке 11 (слева и справа) представлены результаты расчетов процесса затопления-опорожнения поймы в районе поселка Ильича в 2011 г. – расчетные картины для расхода 3000 $м^3/с$ во время подъема и спада уровней воды (7 и 26 дни расчетного периода), соответственно. Наблюдаются различия в глубинах и положении линии уреза воды, что следует учесть при использовании данных ДДЗ для верификации и калибровки компьютерных моделей.

Выполнены расчеты затопления поймы для 2010 г. На рисунке 12 представлены картины затопления поймы в районе п. Ильича: фрагмент спутникового изображения и результаты расчета для расхода на 20.06.2010. Наблюдаемые различия в глубинах и положении линии уреза воды необходимо учесть при дальнейшей калибровке компьютерной 2DH-модели.

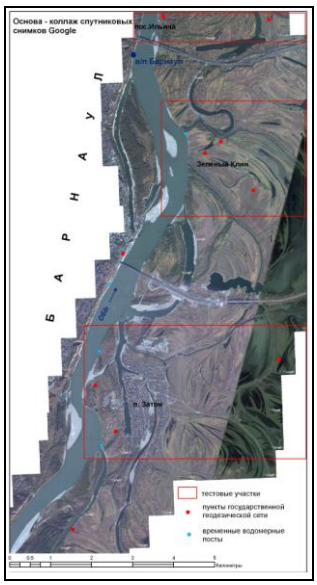


Рис. 10. Расположение тестовых площадок.

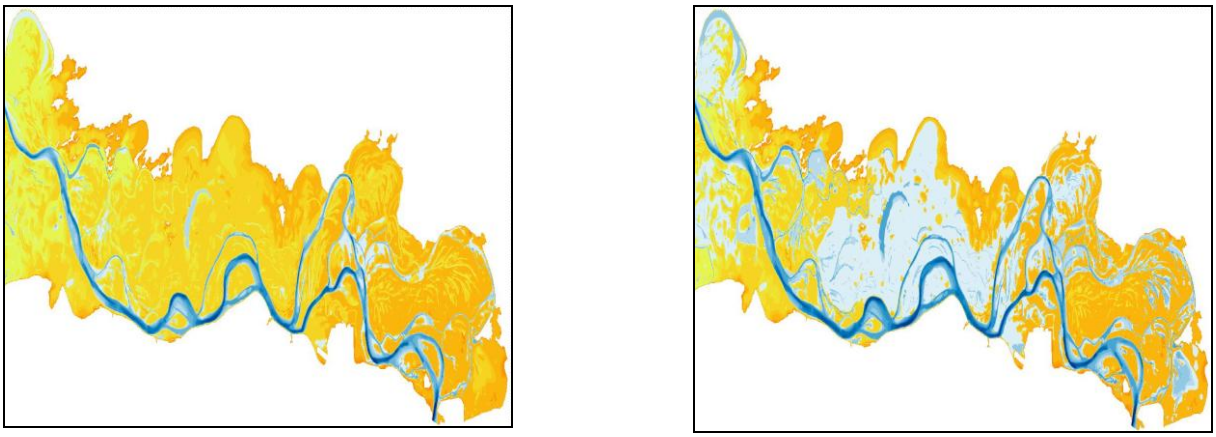


Рис. 11. Высота затопления участка поймы р. Обь в районе г. Барнаула при подъеме (слева) и спаде уровней воды (справка) в период весеннего половодья 2011 г. для расхода 3000 м^3/с.

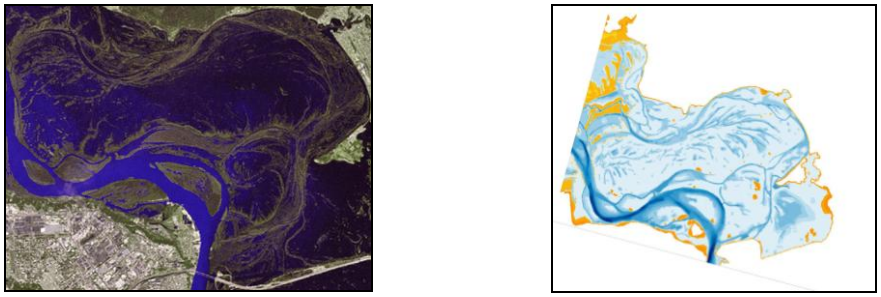


Рис. 12. Картина затопления участка поймы р. Обь в районе п. Ильича (слева) фрагмент спутникового изображения на 20.06.2010; расчет для расхода 6000 м^3/с (справа).

Сравнение результатов алгоритма отношения логарифмов интенсивностей в разных зонах спектра для спутника Worldview-2 с данными батиметрической съемки, проводимой в течение двух лет, показало, что для определения пространственного распределения глубин Новосибирского водохранилища наиболее эффективным является использование каналов Coastal-Green-Red-NIR1 по сравнению с традиционным подходом, в котором используются каналы Blue-Green-Red-NIR1 (рис. 13). При этом для глубоководных участков должны использоваться данные Coastal- и Blue-диапазонов. Этот подход для оценивания использует

только два независимых параметра, кроме того, он может быть применен для водных участков с низким альбедо.

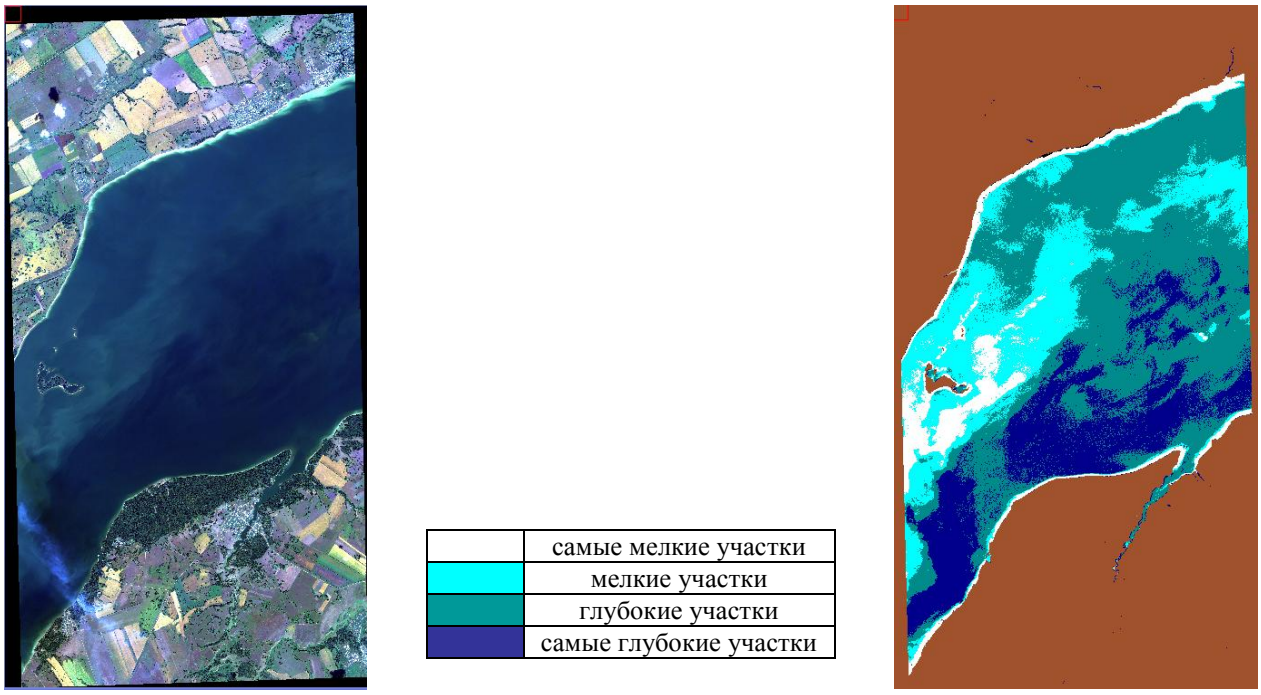


Рис. 13. Результат нахождения относительных глубин Новосибирского водохранилища
снимок Worldview-2 от 27.08.2010 (слева),
относительные глубины на основе каналов Coastal-Green-Red-NIR1 (справа).

Проводился анализ космического снимка Rapideye (5м; Blue, Green, Red, Red-edge, NIR) от 10.08.2010 в целях выявления структурных характеристик для посевов пшеницы и подсолнечника сухостепной зоны Кулундинской равнины.

Установлено следующее.

1. Структурность участков классов пшеницы и подсолнечника проявляется при средних размерах окна анализа (7x7÷11x11), при этом возможно не только идентифицировать качество сельскохозяйственных посевов, но также выделять переувлажненные участки.
2. При мéньших размерах окна (3x3÷7x7) класс пшеницы дает мéньшую ошибку распознавания, чем класс подсолнечника.
3. При бóльших размерах окна (11x11÷15x15) класс подсолнечника дает мéньшую ошибку распознавания, чем класс пшеницы.

Проведенное исследование показывает, что многоспектральные снимки высоко разрешения могут качественно изменить традиционный спектральный подход к распознаванию сельскохозяйственных посевов. Для повышения эффективности методов выделения сельскохозяйственных объектов необходимо найти наиболее эффективные характеристики, представляющие свойство текстурности агрокультур. Важно продолжить исследование, интегрируя выявление наиболее представительных структурных признаков классов и специальных спектральных характеристик растительного покрова **(**индексы растительности, устойчивые к влиянию атмосферы, почвы и т.д.**)**.

В ИЛ СО РАН на основе анализа снимков Landsat и полевых работ выявлена локализация очага повреждения и гибели кедровых насаждений (Pinussibirica) в горах Кузнецкого Алатау, прослежена динамика повреждений, а также установлена вероятная причина этого явления (рис. 14). Показано, что повреждения древостоев наблюдаются преимущественно на склонах южной, юго-восточной и юго-западной экспозиций.

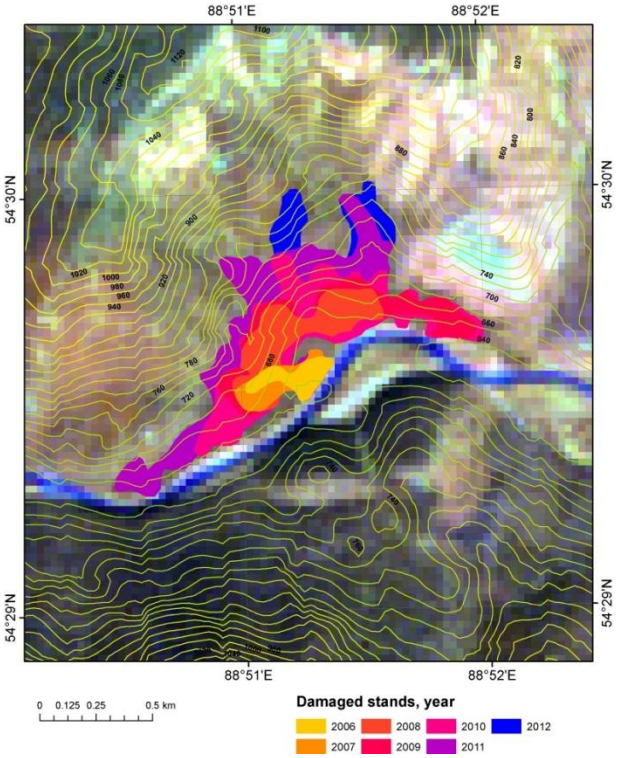


Рис. 14. Картосхема повреждений кедровых древостоев (2006-2012 гг). Подложка: фрагмент сцены Landsat-TM.

Максимальные различия между здоровыми и поврежденныими древостоями наблюдаются в 3, 4 и 5 каналах Landsat (рис. 15). Однако наблюдается перепутывание спектров поврежденных и здоровых древостоев, что осложняет автоматизированный анализ состояния древостоев.

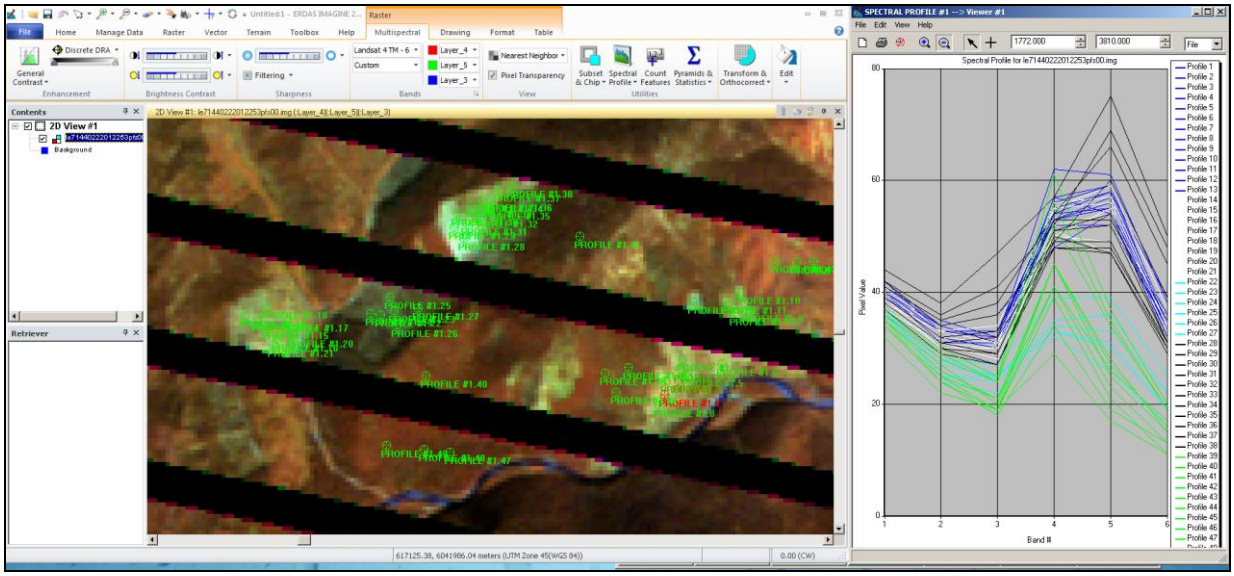


Рис. 15. Справа: «спектральные профили» неповрежденных древостоев (зеленые и голубые линии), поврежденных (синие), а также вырубок (черные). Справа: фрагмент снимка Landsat(09.2012), использованный для получения «спектральных профилей».

Анализ материалов съемки Landsat позволил восстановить динамику гибели древостоев на одном из ключевых участков исследуемой территории («Черный Июс») (рис. 16). Достоверно обнаруживаемые повреждения наблюдаются после 2005 года. Показано, что повреждения локализуются на склонах южной, юго-восточной и юго-западной экспозиций.

Анализ возможных причин усыхания позволил установить следующее.

1. В период после 2000 года наблюдалось резкое снижение «индекса сухости» SPEI(Standardized Precipitation-Evapotranspiration index; Vicente-Serranoetal., 2010) (рис. 17, 18).

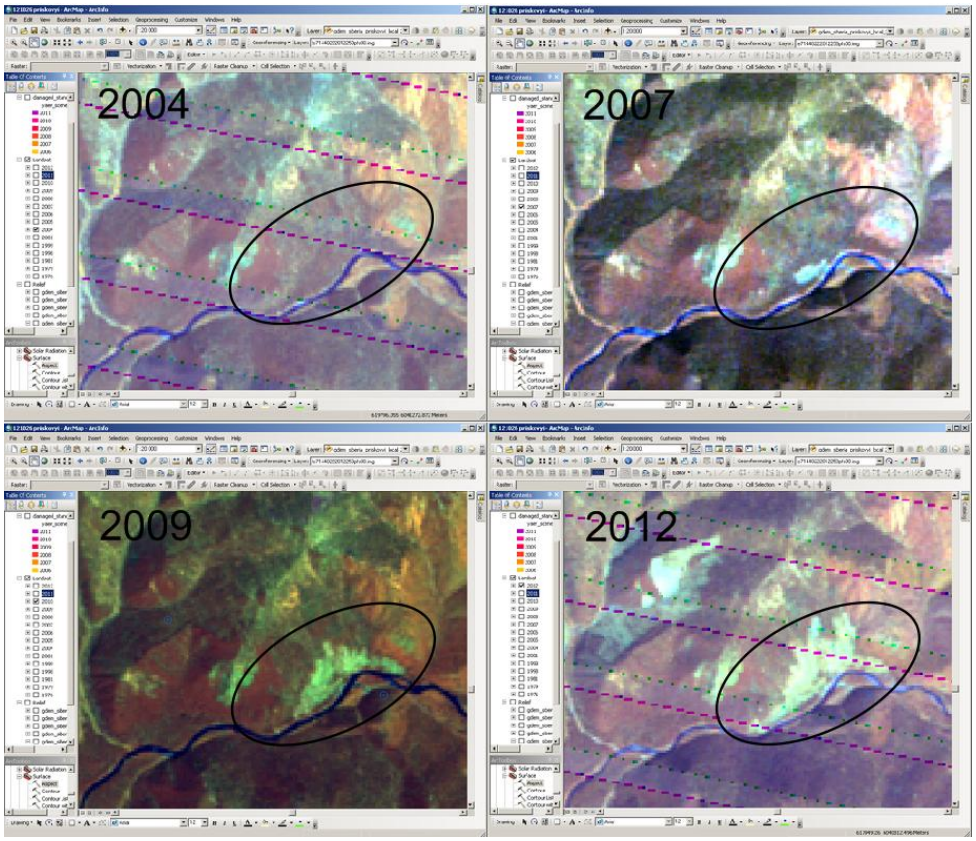


Рис. 16. Фрагменты сцен Landsat (2004, 2007, 2009, 2012 гг).
Основная зона поврежденний древостоев указана овалом.

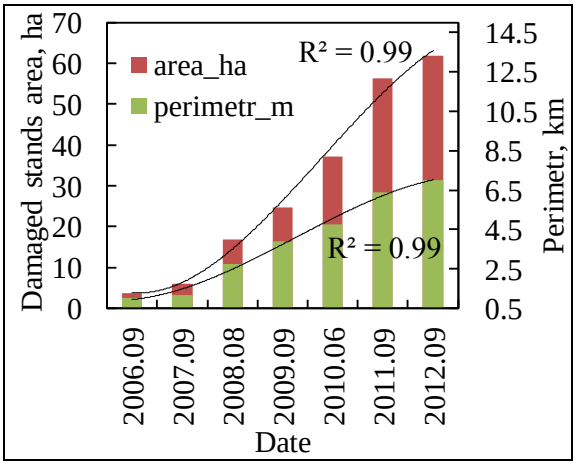


Рис. 17. Динамика площади и периметра повреждений кедровых древостоев на участке «Черный Июс».

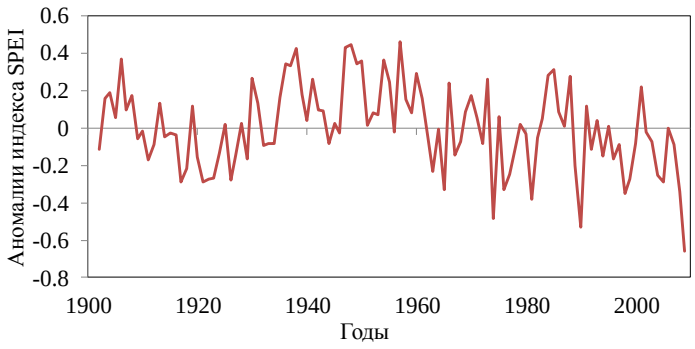


Рис. 18. Многолетние аномалии индеса сухости SPEI на исследуемой территории.

Минимальные значения индекса наблюдаются в последние пять лет. Наблюдается достоверная корреляция ($p>0.01$) между динамикой повреждения древостоев и величиной SPEI (рис. 18). Эти данные указывают на вероятное влияние засухи как основной причины гибели древостоев.

2. Наряду с этим, возможна активация негативного воздействия фитопатогенов. Среди них основная роль может принадлежать корневой губке.

Рассмотренный пример является частью более обширного феномена усыхания хвойных лесов в ряде регионов Сибири. В ходе выполнения проекта планируются дальнейшие исследования по указанной проблеме. Среди них одним из важнейших является вовлечение в анализ снимков сверхвысокого разрешения, а также совершенствование алгоритмов их анализа. Развитие указанного направления позволило бы выявлять ранние стадии повреждения древостоев.

В ИАПУ ДВО РАН созданы новые алгоритмы оценки биопараметров моря для мониторинга прибрежной зоны – экологически проблемных вод высокой трофности (Case II). Основная задача заключается в построении оптимальной по точности схемы расчета биопараметров воды (хлорофилла-а в первую очередь) по спутниковым данным для вод различной трофности с автоматическим распознаванием типа воды.

Оценка точности расчета коэффициентов диффузного отражения воды (Rrs) по мультиспектральной спутниковой информации предполагает сравнение этих коэффициентов с аналогичными коэффициентами, полученными по in situ наблюдениям (измерениям гиперспектрорадиометра ASD). Получение коэффициентов отражения по in situ наблюдениям базируется на оптических протоколах NASA, регламентирующих способ измерения, требования к приборам и технологии расчета биопараметров. Для расчета коэффициентов отражения моря применяется последний по времени протокол, датируемый 2003 годом, который предполагает предельные концентрации хлорофилла-а 3 мг/м^3. Для проведения атмосферной коррекции предполагается, что в ближнем инфракрасном диапазоне морская вода полностью поглощает свет, что в водах высокой трофности не соответствует действительности. Поэтому для сравнения наблюдений пришлось доработать технологию обработки наблюдений, расширив ее в соответствии с вышедшими в последнее время публикациями. Для расчета биопараметров в водах высокой трофности (case II) по спутниковым данным использовалась MUMM-коррекция, реализованная в программном комплексе SeaDAS.

Для использования спутниковой информации с целью экологического контроля морской среды, в первую очередь для распознавания цветения вредоносных водорослей (выделяющих токсины, опасные для человека и морских обитателей), проведен анализ видового состава водорослей. Проведен анализ характеристик распределения биомассы родов микроводорослей залива Петра Великого, необходимых для постановки задачи распознавания видового состава фитопланктона по данным дистанционных оптических измерений. При наличии 116 родов водорослей, встретившихся в пробах фитопланктона залива, биоразнообразие доминирующих по биомассе водорослей не велико. В среднем на лидирующий род приходится около 60% биомассы в пробе воды и фактически не бывает меньше 20%. Четыре рода водорослей в среднем «исчерпывают» около 90% биомассы. Характерное сечение рассеяния водорослей пробы существенно меняется по величине. Пространственно-временное распределение биомассы водорослей может изменяться на порядок и более, тогда как характеристики распределения процентного состава доминирующих водорослей в пробах меняется слабо, и не наблюдается их существенной зависимости от района и величины биомассы.

Анализ видового состава позволяет утверждать, что в целом в разных местах залива присутствуют одни и те же роды фитопланктона. Для заданного месяца и района список доминирующих родов водорослей, обеспечивающих более 90% биомассы в пробах, весьма короток (часто не более 10). Подавляющая часть родов водорослей (около 75%) никогда не достигает стадии монодоминирования (более 50% биомассы в пробе).

Библиографический список опубликованных работ по проекту за 2012 г.

В журналах из списка ВАК

1. Алексанин А.И., Ким В., Орлова Т.Ю., Стоник И.В., Шевченко О.Г. Фитопланктон залива Петра Великого и задача его дистанционного зондирования // Океанология. 2012. Т.52, №2. С.324-331.
2. Alexanin A.I., Alexanina M.G., Dyakov S.E., Zagumennov A.A. Satellite Monitoring of Dynamical Structures on Ocean Surface Imagery // Selected Papers of Conference «Fluxes And Structures in Fluids: Physics of Geospheres – 2011». 2012. Moscow: IAM RAS. Pp. 3-9.
3. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Обнаружение малоразмерных динамических объектов подвижной системой наблюдения // Автометрия. №1. 2012. С. 23-29.
4. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Обнаружение антропогенных зон на основе поиска пространственных аномалий в крупномасштабных спутниковых изображениях // Автометрия. 2012. №5. С. 104-111.
5. Борзов С.М., Потатуркин А.О. Исследование эффективности пространственных признаков при классификации спутниковых изображений различного масштаба // Вестник НГУ серия «Информационные технологии». 2012. №3. С. 58-65.
6. Борзов С.М., Узилов С.Б. Разработка многокадрового алгоритма подавления шума для мобильных тепловизионных систем наблюдения // Вестник НГУ серия «Информационные технологии». 2012. №4. (в печати)
7. Борзов С.М. Обнаружение динамичных объектов на основе поиска пространственно-временных аномалий по видеопоследовательностям инфракрасного диапазона // Автометрия. 2013. №1. С. 11-17. (в печати)
8. Бычков И.В., Гаченко А.С., Ружников Г.М., Федоров Р.К., Хмельнов А.Е. Компоненты региональной инфраструктуры пространственных данных // Вестник БГУ. Математика, информатика. - Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2012. №2. С.48-62
9. Пестунов И.А., Рылов С.А. Алгоритмы спектрально-текстурной сегментации спутниковых изображений высокого пространственного разрешения // Вестник КемГУ. – 2012. – № 4/2 (52). (в печати)
10. Пестунов И.А., Синявский Ю.Н. Алгоритмы кластеризации в задачах сегментации спутниковых изображений // Вестник КемГУ. 2012. № 4/2 (52). (в печати)
11. Ковалевская Н.М., Кириллов В.В., Кириллова Т.В., Ловцкая О.В. Сравнительные оценки качества воды в Новосибирском водохранилище на основе лимнологических MERIS-моделей и данных высокого разрешения Worldview-2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. М., 2012. Т.9(1). С. 176-186.
12. Ковалевская Н.М., Хабидов А.Ш, Федорова Е.А. Определение пространственного распределения глубин на основе многоспектральных данных высокого разрешения на Новосибирском водохранилище // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (в печати).
13. Плуталова Т.Г. Использование простанственно-спектральных характеристик для сравнительной оценки площадей посевов сухостепной зоны Кулундинской равнины. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (в печати).
14. Матвеев А.Г., Якубайлик О.Э. Разработка веб-приложения для обработки и представления пространственных метаданных геопортала // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 2(42). С. 48-54.
15. Якубайлик О.Э. Проблемы формирования информационно-вычислительного обеспечения систем экологического мониторинга // Вестник СибГАУ. 2012. Вып. 3(43). С. 96-102.
16. Якубайлик О.Э., Гостева А.А., Ерунова М.Г., Кадочников А.А., Матвеев А.Г., Пятаев А.С., Токарев А.В.. Разработка средств информационной поддержки наблюдений за состоянием окружающей природной среды // Вестник КемГУ. 2012. № 3/1(51). С. 136-142.

17. Кадочников А.А., Токарев А.В. Разработка информационной системы «Сеть образовательных учреждений Красноярского края». // Информационные ресурсы России. 2012. № 4. С. 29-33.

В рецензируемых электронных изданиях

18. Жижимов О.Л., Пестунов И.А., Федотов А.М. Структура сервисов управления метаданными для разнородных информационных систем // Российский научный электронный журнал «Электронные библиотеки». 2012. Т. 15. Вып. 6 http://www.elbib.ru/index.phtml?page=elbib/rus/journal/2012/part6/ZPF.

В трудах международных конференций

19. Потатуркин О.И., Борзов С.М. Коррекция движения системы регистрации при анализе динамических изменений на поверхности Земли // Сборник трудов Международной конференции «Математические и информационные технологии, MIT-2011» (Врнячка Баня, Сербия, 27–31 августа 2011 г., Будва, Черногория, 31 августа – 5 сентября 2011 г.). Zbornik radova Konferencije MIT: [Matematičke i informacione tehnologije] 2011: [[održane] u Vrnjačkoj Banji od 28. do 31. avgusta I u Budvi od 31.avgusta do 5. septembra 2011. godine] / [urednik Dragan Aćimović]. – Beograd, 2012. С. 52-56.
20. Пестунов И.А., Рылов С.А. Сегментация спутниковых изображений высокого разрешения по спектральным и текстурным признакам // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. научн. конгресс, 10-20 апреля 2012 г., Новосибирск: Междунар. научн. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геология»: сб. материалов в 2 т. Т. 1. Новосибирск: СГГА, 2012. С. 86-91.
21. Пестунов И.А., Мельников П.В. Информативность систем текстурных признаков для классификации спутниковых изображений с высоким пространственным разрешением // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. научн. конгресс, 10-20 апреля 2012 г., Новосибирск: Междунар. научн. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геология»: сб. материалов в 2 т. Т. 1. Новосибирск: СГГА, 2012. С. 92-98.
22. Кадочников А.А. Веб-сервисы и приложения для геоинформационного Интернет-портала ИВМ СО РАН. Материалы Международной конференции «ИнтерКарто-ИнтерГИС-17». Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт». Белокуриха, Денпасар, 14-19 декабря 2011. С. 93-97.
23. Якубайлик О.Э. Создание интегрированных геоинформационных веб-систем в технологии MapGuide Open Source // «Актуальные проблемы науки и образования: прошлое, настоящее, будущее»: сборник научных трудов по материалам Международной заочной научно-практической конференции 29 марта 2012 г.: в 7 частях. Часть 6; Мин. образования и науки Рос. Федерации, Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2012. – ISBN 978-5-4343-0157-2. – С. 143-146.
24. Кадочников А.А. Организация доступа к электронной карте Красноярского края для информационно-аналитических систем с помощью веб-сервисов // Материалы Международной конференции «ИнтерКарто-ИнтерГИС-18». Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт» / Редкол.: С.П. Евдокимов (отв. ред.) [и др]. Смоленск, 26-28 июня, 2012 г. Смоленск, 2012. 532 с. С. 136-140.
25. О.Э. Якубайлик. Особенности реализации программ визуализации данных каталога спутниковых снимков // Перспективы развития информационных технологий: сборник материалов VII Международной научно-практической конференции / Под общ.ред. С.С. Чернова. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2012. ISBN 978-5-7782-1939-7. С. 291-295.
26. Якубайлик О.Э. Методы построения прикладных геоинформационных систем на основе картографических веб-сервисов геопортала // Zbornik radova Konferencije MIT 2011. – Beograd: Alfa univerzitet; Kosovska Mitrovica: Društvo matematičara Kosova i Metohije, Serbia; Novosibirsk: Institute of Computational Technologies, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2012 (Kraljevo:Graficolor). 404 str. ISBN 978-86-83237-90-6 (AU). P. 396-402.

27. Нежевенко Е.С., Козик В.И. Феоктистов А.С. Адаптивное прогнозирование развития динамических процессов на поверхности Земли с использованием рекуррентных нейронных сетей // Сборник трудов Международной конференции «Математические и информационные технологии, MIT-2011» (Врнячка Баня, Сербия, 27-31 августа 2011 г., Будва, Черногория, 31 августа – 5 сентября 2011 г.). Zbornik radova Konferencije MIT: [Matematičke i informacione tehnologije] 2011: [[održane] u Vrnjačkoj Banji od 28. do 31. avgusta I u Budvi od 31.avgusta do 5. septembra 2011. godine] / [urednik Dragan Aćimović]. Beograd, 2012. С. 226-231.

В трудах всероссийских конференций

31. Борзов С.М., Пестунов И.А. Сегментация спутниковых изображений высокого разрешения на основе спектральных, текстурных и структурных признаков для анализа ЧС природного и техногенного характера // Труды IV Всероссийской конференции «Безопасность и живучесть технических систем», 9-13 октября 2012, г. Красноярск. Т.2. С. 209-212.
32. Кириллов В.В., Ковалевская Н.М., Котовщиков А.В., Ловцкая О.В., Дьяченко А.В. Информационные аспекты экологической безопасности Новосибирского водохранилища // Тр.Всерос.науч.конф. с международным участием «Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии». Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2012.- С. 233-239.
33. Ковалевская Н.М., Винокуров Ю.И., Кириллов В.В. Технологические аспекты оценки содержания хлорофилла в прибрежных водах Арктики. // Тр.Всерос.науч.конф. «Научное и технические обеспечение исследований и освоения шельфа Северного Ледовитого океана» // под ред. Г.И.Криволапова - Новосибирск, 2012. С.238-244.
34. Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Матвеев А.Г., Пятаев А.С., Токарев А.В. Программно-технологическое обеспечение геопортала ИВМ СО РАН // Информационные системы для научных исследований: Сборник научных статей. Труды XV Всероссийской объединенной конференции «Интернет и современное общество». Санкт-Петербург, 10-12 октября 2012 г. – СПб., 2012. – ISBN 978-5-903811-20-5. С. 143-148.
35. Узилов С.Б. Разработка алгоритма подавления шума для мобильных тепловизионных систем наблюдения // Материалы молодежной конкурс-конференции «Фотоника и оптические технологии» (26-28 марта 2012 г., г. Новосибирск), 2012. С. 26-27.
28. Борзов С.М., Пестунов И.А., Рылов С.А. Методы и алгоритмы сегментации мультиспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения на основе спектральных, текстурных и структурных признаков // Тезисы докладов Десятой всероссийской открытой ежегодной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, природных и антропогенных объектов) (г. Москва, 12-16 ноября 2012 г.). Москва: ИКИ РАН, 2012. - http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=27&thesis=3573
36. Рылов С.А., Пестунов И.А., Борзов С.М. Сегментация спутниковых изображений высокого разрешения на основе анализа их спектральных, текстурных и структурных характеристик // Тезисы XIII Всероссийской конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. г. Новосибирск, 15-17 октября 2012 г.
37. Борзов С.М., Потатуркин О.И., Бикинеева О.Р. О возможности использования спутниковых изображений для контроля состояния берегов водных объектов. // Тезисы XIV Российской конференции с международным участием "Распределенные информационные и вычислительные ресурсы" (DICR-2012) 26 ноября - 30 ноября 2012, Новосибирск. (в печати).
38. Козик В.И., Нежевенко Е.С., Феоктистов А.С. Нейросетевой метод прогнозирования развития динамических процессов на поверхности Земли // Тезисы XIV Российской конференции с международным участием «Распределенные информационные и вычислительные ресурсы» (DICR-2012) 26 ноября - 30 ноября 2012, Новосибирск (в печати).

В тезисах конференций

41. Мельников П. В. Формирование информативной системы текстурных признаков для распознавания спутниковых изображений с высоким пространственным разрешением // Материалы 50-й юбилейной международной студенческой научной конференции «Студент и научно-технический прогресс». Информационные технологии // Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск. 2012. С. 15.
42. Рылов С.А. Сегментация спутниковых изображений высокого пространственного разрешения на основе спектральных и текстурных характеристик // Материалы 50-й юбилейной международной студенческой научной конференции «Студент и научно-технический прогресс». Информационные технологии // Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск. 2012. С. 20.
43. Фёдоров Р.К. Применение алгоритма A* в логико-синтаксическом методе распознавания объектов на нечётких изображениях // Материалы конф. «Ляпуновские чтения» Иркутск: РИО ИДСТУ СО РАН. С.47.
44. Бикинеева О.Р. Контроль состояния берегов искусственных водоемов по спутниковым изображениям высокого разрешения // Материалы молодежной конкурс-конференции «Фотоника и оптические технологии» (26-28 марта 2012 г., г. Новосибирск), 2012. С. 4-5.
45. Потатуркин А.О. Исследование метода обнаружения объектов неприродного происхождения на основе поиска аномалий // Материалы молодежной конкурс-конференции «Фотоника и оптические технологии» (26-28 марта 2012 г., г. Новосибирск), 2012. С. 21.
29. Бикинеева О.Р. Контроль изменений береговой линии по многоспектральным спутниковым изображениям // Материалы 50-й Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (13–19 апреля 2012 г. г. Новосибирск): Информационные технологии / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2012. С. 7.
30. Потатуркин А.О. Исследование эффективности пространственных признаков на спутниковых изображениях различного масштаба // Материалы 50-й Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (13–19 апреля 2012 г. г. Новосибирск): Информационные технологии / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2012. С. 18.
31. Узилов С.Б. Исследование эффективности межкадровых методов подавления шума // Материалы 50-й Международной научной студенческой конференции «Студент и научно-технический прогресс» (13–19 апреля 2012 г. г. Новосибирск): Информационные технологии / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2012. С. 23.

Сведения о созданной и оформленной интеллектуальной собственности (патенты и т.д.).

1. Свидетельство № 2012618980 Российская Федерация. Моделирование течений в водоемах и водотоках (WFR2HD 1.0) / Заявитель и правообладатель: Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук (ИВЭП СО РАН) (RU); авторы: Кошелев К.Б. (RU). – Заявка № 2012616756, дата поступления 07.07.12; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 04.10.12. – 1 с.
2. Токарев А.В., Якубайлик О.Э. Комплекс программ для геоинформационного моделирования воздействия промышленных выбросов на окружающую природную среду «Геоинформационная Интернет-лаборатория» // Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614079 от 4 мая 2012 г.
3. Кадочников А.А., Якубайлик О.Э. Программа управления данными Интернет-системы «Природные ресурсы Красноярского края» // Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614078 от 4 мая 2012 г.
4. Пятаев А.С., Якубайлик О.Э. Программа для корректировки картографических данных с помощью локально-аффинных преобразований «ЛАПКа» // Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614075 от 4 мая 2012 г.

5. Матвеев А.Г., Якубайлик О.Э. Программа визуализации каталога картографических ресурсов на основе системы управления метаданными «Каталог пространственных данных» // Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614080 от 4 мая 2012 г.
6. Матвеев А.Г., Якубайлик О.Э. Система управления контентом интерактивного картографического веб-портала «ГЕОФРЕЙМВОРК» // Федеральная служба по интеллектуальной собственности (Роспатент). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2012614076 от 4 мая 2012 г.
7. Пестунов И.А., Рылов С.А. Программа для сегментации мультиспектральных спутниковых изображений высокого пространственного разрешения (подана заявка на гос. регистрацию программы для ЭВМ).

Научный координатор проекта
д.т.н., профессор О.И. Потатуркин