

УДК 528.88: 528.856: 502.065

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ РЕГИОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ АТЛАСНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Верхотуров Алексей Александрович¹,
ussr-91@mail.ru

Мелкий Вячеслав Анатольевич¹,
vamelkiy@mail.ru

¹ Технический нефтегазовый институт Сахалинского государственного университета,
Россия, 693008, г. Южно-Сахалинск, ул. Пограничная, 42.

Актуальность работы обусловлена тем, что оценка современного состояния земель, определение характера изменений компонентов природных комплексов, прогноз активизации негативных процессов, изменяющих ландшафты и все компоненты экосистем, не возможны без качественных данных, которые можно получить только с помощью хорошо организованных систем мониторинга на региональном уровне.

Цель работы: анализ возможностей систем, обеспечивающих экологический мониторинг на региональном уровне. Для достижения цели решены задачи: выявлены корреляционные связи внешних проявлений в рельефе с внутренними природными процессами и причины их возникновения, определены индикаторы направленности процессов, разработаны рекомендации по оптимизации функционирования региональных систем мониторинга на базе системного атласного геоинформационного картографирования.

Методы исследования. Выполнен анализ технических возможностей станций приема спутниковой информации с аппаратов TERRA, Landsat, NOAA и других на региональном уровне в Сахалинской области. При проведении исследований использовались методы математического и геоинформационного картографирования, статистические, комплексные физико-географические, пространственного анализа, тематического дешифрирования и др.

Результаты. Разработаны рекомендации по организации системы мониторинга Сахалинской области, определена архитектура сети исполнителей и техническое оснащение; внесено предложение решать задачи, поставленные перед региональным мониторингом земель на базе системного атласного геоинформационного картографирования и доступных данных дистанционного зондирования Земли в конкретных заданных масштабах. Для этого необходимо обеспечить прием данных с определенной периодичностью наблюдений. Рекомендовано применить систему регионального мониторинга, которая способна повысить оперативность и эффективность его проведения в Сахалинской области за счет кооперации, согласованной деятельности всех участников.

Выводы. Разработана теория, и заложена методологическая основа системы атласного геоинформационного картографирования территории Сахалинской области, на базе которой можно организовать комплексный мониторинг земель в регионе с использованием существующих геопорталов, а в лучшем случае с применением вновь созданного специализированного геопортала. Прием спутниковой информации должен осуществляться наземными станциями приема, расположенными в регионе.

Ключевые слова:

Мониторинг земель, геоинформационное картографирование, кадастр земельных ресурсов, космические съемки, охрана окружающей среды, геопортал, атлас карт.

Введение

По выражению В.И. Вернадского, наука и техника превратили деятельность человека в особую геологическую силу, преобразовавшую всю поверхность Земли [1]. Крупные промышленные комплексы, как правило, занимают большую территорию и оказывают значительное воздействие на окружающую среду. Оценка современного состояния земель, определение характера изменений компонентов природных комплексов, прогноз активизации негативных процессов, изменяющих ландшафты, невозможны без качественных данных, которые можно получить только с помощью хорошо организованного мониторинга. Организация мониторинга на региональном уровне – задача весьма сложная, а при условии необходимости ее выполнения – без всякого сомнения, актуальная.

Государственный мониторинг земель представляет собой систему наблюдений, оценки и прогнозирования, направленных на получение достоверной информации о состоянии земель, об их количе-

ственных и качественных характеристиках, их использовании и о состоянии плодородия почв [2]. Региональный мониторинг земель проводится с целью выявления состояния земельных ресурсов, определения изменений, которым они подвергаются, прогноза развития природных процессов и выработки рекомендаций по предотвращению негативных последствий.

Точная и достоверная количественная оценка изменений, происходящих под влиянием природных процессов, возможна лишь тогда, когда системы, осуществляющие мониторинг, обеспечены картографическими материалами, позволяющими распознавать их с достаточной детальностью и в соответствующем масштабе. Нужны специальные технологии для решения таких задач. В результате проведенных исследований разработана система регионального мониторинга, в основу которой заложены алгоритмы и технологии системного атласного геоинформационного картографирования (САГИК).

Анализ международного и отечественного опыта по созданию систем мониторинга земель

Впервые замысел создания Глобальной системы мониторинга окружающей среды (ГСМОС) возник на Стокгольмской конференции ООН по окружающей среде в 1972 г. для решения экологических проблем [3]. Основные требования к системе были разработаны в 1975 г., она начала формироваться в рамках программы United Nations Environment Programmed (ЮНЕП). Программа нацелена на заблаговременное выявление изменений, которые отрицательно воздействуют на человека. В рамках программы также отслеживаются параметры состояния геологической среды, почв, землепользования, ландшафтов и др. Сбор данных в системе ГСМОС осуществляется с помощью аэро- и космической съемки, проводится на наземных стационарных и передвижных станциях.

Выполненный анализ показывает, что существующие системы мониторинга, действующие в рамках международных программ на национальном уровне, в значительной степени различаются друг от друга и зависят от природных условий различных стран. В большинстве национальных проектов особое внимание уделяется мониторингу земель.

В Канаде проведена полная инвентаризация земель с оценкой плодородия. Канадский центр дистанционного зондирования (CCRS) в числе первых создал и использует географическую информационную систему (ГИС) позволяющую отслеживать тенденции глобальных изменений окружающей среды и вести кадастровый учет и оценку земельных ресурсов [4].

В Швеции все программы мониторинга окружающей среды базируются на изучении эталонных территорий, представленных характерными для Скандинавии лесными землями и опытными полями. Результаты исследований анализируются и служат основой для рекомендаций по использованию земель [5].

В США мониторингом земель занимается Агентство по защите окружающей среды, которое проводит научные исследования, разрабатывает рекомендации по охране природы, распределяет разрешения на природопользование и др. Национальная служба охраны почв США осуществляет сбор наземных данных и формирует базы данных (БД) съемки земель [6].

Мониторинг земель в Германии опирается в основном на данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В рамках мониторинга земель территориальные органы собирают данные о состоянии компонентов природной среды и их изменениях, а также разрабатывают мероприятия по охране природной среды.

В СССР в 70-е годы в рамках Госкомгидромета была организована Общегосударственная служба наблюдений и контроля состояния окружающей среды (ОГСНК).

В Российской Федерации в 1993 г. было принято Постановление Правительства РФ о создании системы экологического мониторинга [7]. Ответственность за выполнение отдельных функций в Единой государственной системе экологического мониторинга была возложена: на Минприроды, Росгидромет, Роскомзем, Роскомнедра и т. д. [8, 9]. Несмотря на то, что над решением проблем создания системы мониторинга работали столь различные и весильные ведомства, единая система так и не была создана спустя 30 лет с начала ее разработки.

Хорошо организован мониторинг земель сельскохозяйственного назначения. Выполняется Федеральной службой государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр), которая с определенной периодичностью наземными и аэрокосмическими методами выявляет особенности состояния земель, а также дает оценку степени изменения почв и растительности.

В базы данных фонда информации Росреестра включены данные регулярных наблюдений за земельными ресурсами, справочные материалы и программное обеспечение для анализа состояния земель сельскохозяйственного назначения.

Возможно, что по отдельности разработаны все необходимые элементы для организации единой системы мониторинга и требуется лишь объединение усилий ведомств-участников, обладающих технологиями ведения покомпонентного мониторинга. Концепции, алгоритмы и технологии, позволяющие организовать наблюдения за определенными процессами в окружающей среде, разрабатывались многими учеными: В.П. Савиных обоснована возможность информационного обеспечения научных и прикладных исследований космической информацией [10]; В.Г. Бондуром и другими разработаны методы космического мониторинга природных катастроф и объектов нефтегазового комплекса [11–14]; В.А. Малинниковым созданы теория и методы информационного обеспечения мониторинга земель [15]; В.А. Мелким и другими разработаны теория аэрокосмического мониторинга вулканопасных территорий и методы выявления катастрофических природных процессов на ранних стадиях [16–18]; В.С. Марчуковым – методики автоматизированного дешифрирования [19]; А.В. Садовым созданы теоретические основы применения аэрокосмических методов в инженерной геодинимике [20]; основы землепользования в крупных городах сформулированы А.П. Сизовым [21–22] и развиты Liu T., Yang X. [23]. Прекрасный обзор систем космического зондирования представлен в работе С.В. Гарбука, В.Е. Гершензона [24].

Среди исследований спектральной отражательной способности, применяемых при картографировании на основе данных дистанционного зондирования, выделяются труды Е.Л. Кринова [25], П. Кронберга [26]. Результаты разработки теории

и методов оценки и прогноза состояния природных ресурсов с использованием космических снимков представлены в работах А.Т. Зверева, В.В. Гавриловой [27]. Проблемы использования данных дистанционного зондирования при картографическом отображении результатов геоэкологического мониторинга рассмотрены в трудах С.А. Сладкопевцева, Varboux Chloé с соавторами [28, 29]. Научные основы использования топографических карт в целях экодиагностики территорий разработаны в трудах Т.В. Верещаки [30]. Теоретические основы анализа пространственной структуры ландшафтов на основе данных дистанционного зондирования разработаны В.В. Братковым, [31–33], Р. García-Llamas с соавторами [34], М. Marcantonio с соавторами [35], Martinez del С.Е. с соавторами [36]. Аэрокосмические методы географических исследований детально рассмотрены в трудах Ю.Ф. Книжникова, В.И. Кравцовой [37], Р. Kronberg [38]. Основные задачи создания системы глобального спутникового мониторинга лесов освещены в работах Е.А. Лупяна, С.А. Барталева [39, 40].

В процессе обсуждения на международных симпозиумах, посвященных освоению космического пространства, в Днепропетровске (Украина) в 2007 г., Королеве (Россия), Шанхае (Китай) и Глазго (Шотландия) в 2008 г. сформировались концепция и основные принципы организации International Global Monitoring AeroSpace System – Международной аэрокосмической системы глобального мониторинга (IGMASS, МАКСМ). IGMASS создается с целью наблюдения за состоянием околоземного космического пространства, атмосферы и литосферы, сбора и анализа информации и своевременного предупреждения о всевозможных угрозах. В состав системы входят наземный, авиационный и ракетно-космический комплексы.

Международные системы мониторинга могут быть созданы только на основе национальных, а те, в свою очередь, – на основе региональных. При создании региональных систем обязательно должны учитываться особенности природных условий региона, уровень развития промышленности и сельского хозяйства, состояние экосистем в регионе. В частности, системы должны содержать информацию об интенсивности использования земель и развития на них негативных процессов (их нарушениях, плодородии, заболачивании, нецелевом использовании и т. д.). Для осуществления мониторинга земель на региональном уровне необходимо создать систему, способную собирать, хранить, обрабатывать и передавать потребителям информацию о состоянии наблюдаемых объектов в доступном, прежде всего картографическом, виде. Обеспечение технической поддержки функционирования системы не представляется возможным без использования современных технологий геоинформационного картографирования [41, 42].

Обмен пространственными данными обычно производится с использованием геопорталов, которые обеспечивают поиск, просмотр, загрузку метаданных, а также скачивание пространственных данных в соответствии с правами доступа к необходимым материалам. В России на федеральном уровне функционируют кадастровая карта Росреестра, геопортал Роскосмоса, система мониторинга и атлас земель сельскохозяйственного назначения РФ.

Региональные геопорталы созданы в Москве, Санкт-Петербурге, Уральском федеральном округе, Приморском крае и ряде других регионов и городов. При этом работы по созданию и картографическому обеспечению геопорталов в ряде регионов страны только начинаются.

Анализ деятельности по наблюдению за состоянием природной среды территории

Изучение проблемы по доступным источникам показало, что на сегодняшний день комплексных систем мониторинга земель в регионах РФ нет. Реальные систематические работы по мониторингу земель с применением ДЗЗ в Сахалинской области ведутся весьма ограниченно. Им занимаются Дальневосточный филиал Российского федерального геологического фонда (ДФР Росгеолфонда, г. Южно-Сахалинск), Сахалинский государственный университет (СахГУ), Институт морской геологии и геофизики (ИМГиГ) ДВО РАН, Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета, Главное управление МЧС России по Сахалинской области (в части сбора информации от юридических и физических лиц) и Сахалинский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (СахНИРО).

В *Дальневосточном филиале Росгеолфонда* работает группа дистанционных методов, осуществляющая прием данных дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов типа Ресурс-01, NOAA, TERRA, в целях сбора информации для Государственного банка цифровой геологической информации (ГБЦГИ), и обработку оперативной космической съемки по направлениям:

- мониторинг лицензионных участков по добыче полезных ископаемых в Сахалинской области;
- анализ ледовой обстановки в Дальневосточном регионе;
- обнаружение и отслеживание очагов пожаров в Дальневосточном регионе;
- контроль за вулканической активностью на территории полуострова Камчатка и Курильских островов.

Станция приема спутниковой информации «УниСкан» обеспечивает сбор данных со сканера MODIS, полученных в режиме прямого вещания со спутника Terra.

Расчет расписания выполняется NASA ежедневно и находится на сервере Celestial WWW

(<http://celestrak.com>). Точное время для радиообмена со спутником определяется при помощи GPS-приемника. Данные принимаются 2–3 раза в день с охватом территории: с востока на запад – от Анадырского залива до Братской ГРЭС; с севера на юг – от шельфовой зоны Северного Ледовитого океана до острова Тайвань [43].

В *Институте морской геологии и геофизики* (ИМГиГ) ДВО РАН всегда уделялось большое внимание проблемам вулканической активности и мониторинга вулканоопасных территорий [44, 45], накоплен большой опыт контроля за состоянием вулканов с использованием данных дистанционно-зондирования.

Прогнозирование вулканических извержений в мировой практике выполняется на основе данных комплексных дистанционных геофизических и геохимических методов, которые позволяют получить разноплановую информацию о магматических процессах под вулканами. В России такого рода система развернута на Камчатке подразделениями Российской академии наук. Радиотелеметрическая сеть позволяет осуществлять мониторинг вулканической активности по сейсмическим данным на вулканах Авачинском, Корякском, Шивелуч, Безымянном, Ключевском и Плоский Толбачик [46, 47].

В 2003 г. для ведения работы по мониторингу активных вулканов Курильских островов в ИМГиГ ДВО РАН создана Сахалинская группа оперативного реагирования на вулканические из-

вержения – Sakhalin Volcanic Eruptions Response Team (SVERT). Главная задача группы SVERT – сбор и анализ всей доступной информации об активных вулканах и обмен информацией с заинтересованными партнерами (рис. 1).

Имеющиеся на Курильских островах сейсмостанции не могут быть использованы для контроля вулканической активности по причине удаленности от вулканов. При формировании системы мониторинга вулканоопасных территорий в первую очередь было организовано наблюдение за вулканами Тятя, Менделеева, Иван Грозный, Баранского, Чирип, Богдан Хмельницкий, Эбеко, Чикурачки и Алаид как наиболее опасных для населения Курильских островов. Для контроля активности вулканов используются изображения, передаваемые со сканирующих устройств спутников [44].

Зона ответственности группы SVERT включает территорию Курильских островов от о. Кунашир до о. Онекотан. Наблюдения за вулканами северной группы (о. Парамушир и о. Атласова) проводит Камчатская группа оперативного реагирования на вулканические извержения (KVERT) Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (рис. 2) [48, 49].

С 2012 г. группой SVERT помимо данных радиометра MODIS со спутника TERRA, поставляемых Дальневосточным филиалом Росгеолфонда (г. Южно-Сахалинск), используется также информация сканеров AVHRR/POES NOAA, поставляемых центром регионального спутникового монито-



Рис. 1. Схема взаимодействия группы SVERT [45]

Fig. 1. Scheme of interaction of the SVERT group [45]

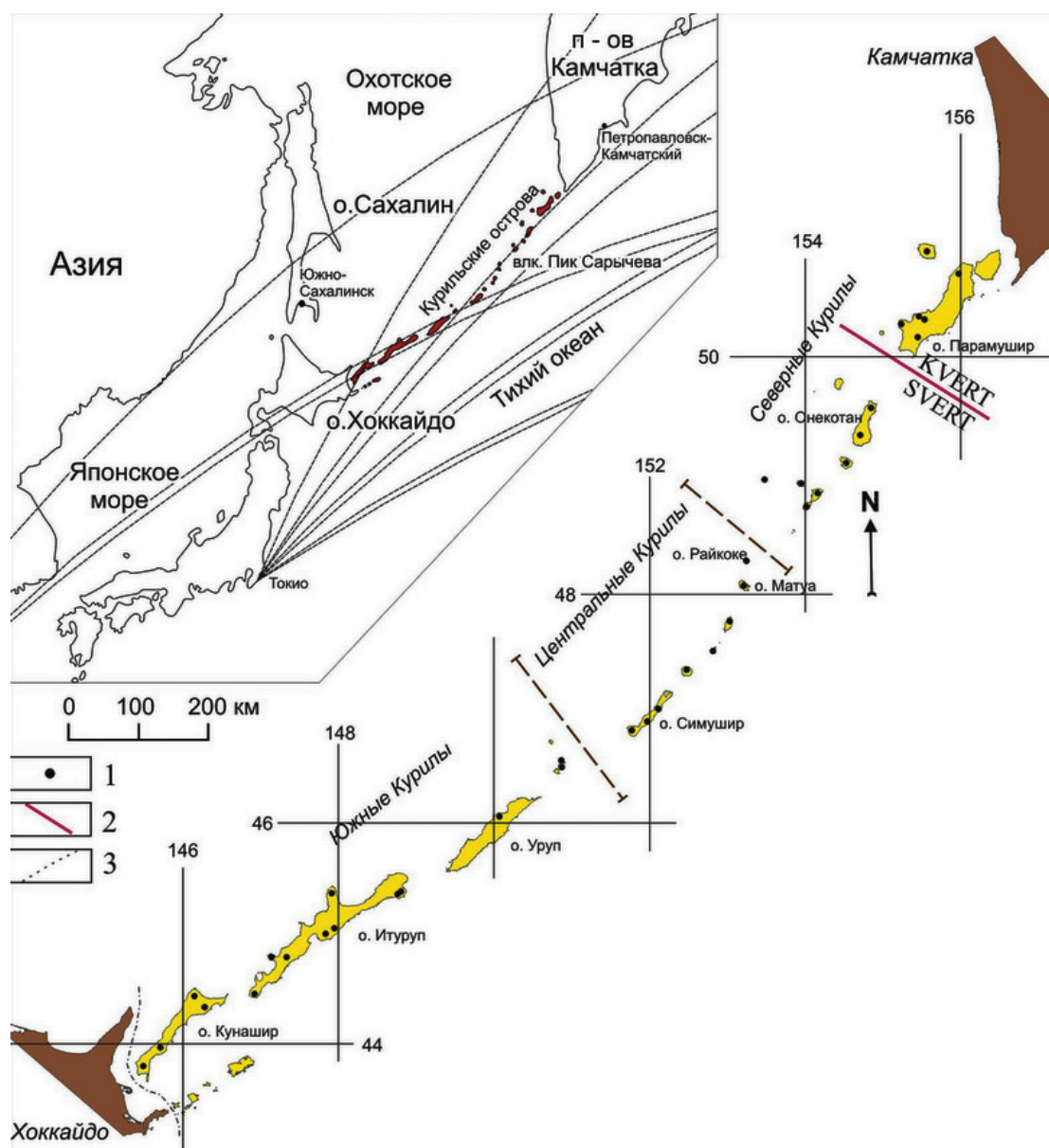


Рис. 2. Зоны ответственности за выполнение мониторинга вулканической опасности для авиатрасс, выполняемого группами SVERT и KVERT [45]

Fig. 2. Zones of responsibility for monitoring volcanic hazard for airway performed by KVERT and SVERT [45]

ринга окружающей среды ДВО РАН (www.satellite.dvo.ru). Центр осуществляет мониторинг земель и экологического состояния дальневосточных морей [50]. На Камчатке состояние вулканических построек можно наблюдать даже в режиме реального времени [51].

Сахалинское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета не имеет собственных станций приема спутниковой информации. Сбор данных дистанционного зондирования в системе Росгидромета осуществляет ФГБУ НИЦ «Планета» – ведущая организация по развитию национальных космиче-

ских систем гидрометеорологического, океанографического, гелиогеофизического мониторинга и мониторинга окружающей среды, а также по приему и обработке данных с зарубежных спутников. Функции приема, обработки, архивирования и распространения данных возложены на центры: Европейский (гг. Москва, Обнинск, Долгопрудный), Сибирский (г. Новосибирск), Дальневосточный (г. Хабаровск) и «Планета» (рис. 3). Сбор и обработка основного объема данных осуществляются московским НИЦ «Планета» [52].

По состоянию на 2016 г. российская группировка спутников метеорологического и природно-

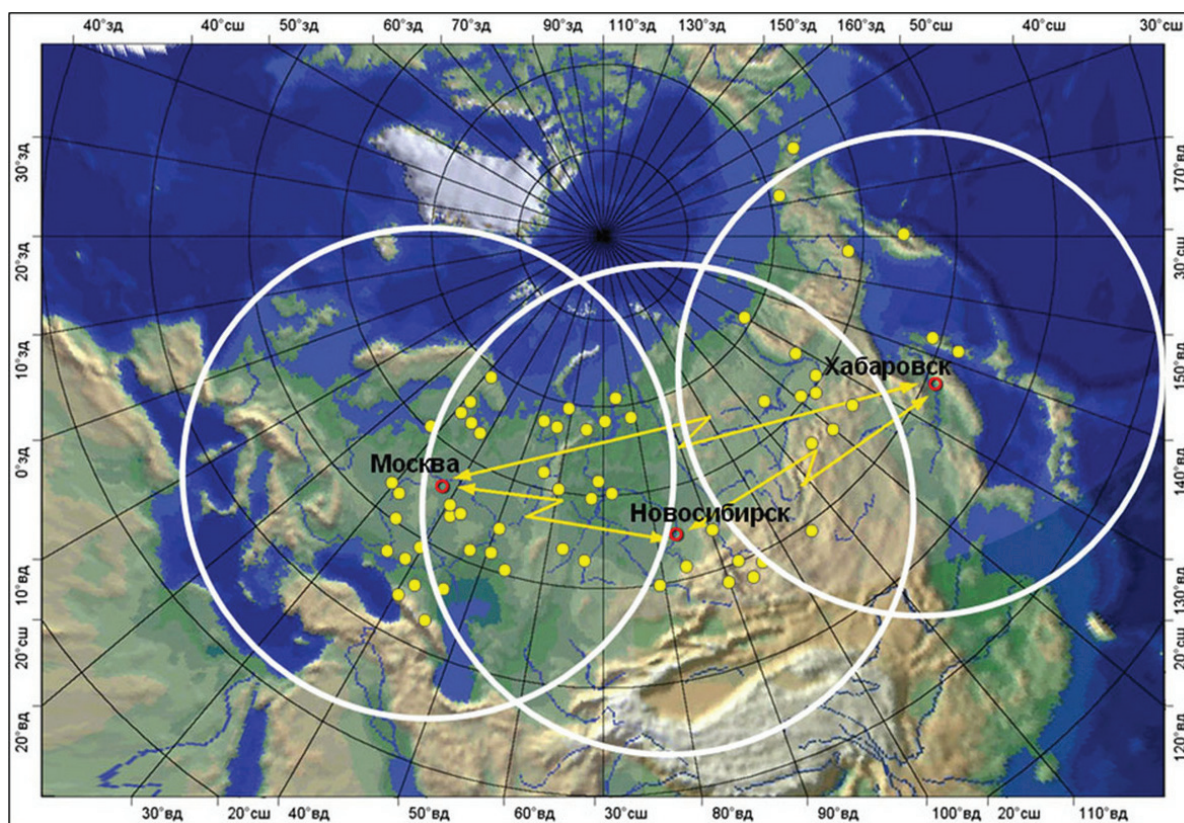


Рис. 3. Размещение наземного сегмента космической подсистемы Росгидромета [52]

Fig. 3. Location of the ground segment of the Roshydromet Space-based subsystem [52]

ресурсного назначения включает в себя пять космических аппаратов: геостационарный спутник «Электро-Л» № 1 и четыре полярно-орбитальных спутника – «Метеор-М» № 1, «Метеор-М» № 2, «Канопус-В» и «Ресурс-П».

Главное управление МЧС России по Сахалинской области участвует в работе по совершенствованию системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, а также по разработке и внедрению в установленном порядке показателей риска на территориях и объектах экономики. В настоящее время центр мониторинга, работавший в ГУ ранее, упразднен.

В Сахалинском научно-исследовательском институте рыбного хозяйства и океанографии функционирует отдел исследований среды и мониторинга антропогенного воздействия. Сектор инструментального мониторинга этого отдела осуществляет анализ пространственно-временной изменчивости физико-химических свойств водных масс Охотского и северной части Японского морей, их влияния на воспроизводство и распределение гидробионтов. Исследования ведутся с использованием данных спутникового мониторинга с метеорологических спутников NOAA. В базе данных СахНИРО собрана информация о температуре поверхности океана (ТПО) с 1997 г., поверхностной концентрации хлорофилла с 2001 г. и ледовой обстановке с

2003 г. в квадрате со сторонами 42° – 60° с. ш. и 135° – 163° в. д., включающем в себя акватории Татарского пролива и Охотского моря [53].

Станция приема спутниковой информации состоит из приемной параболической антенны диаметром 1 м, предназначенной для приема данных со спутников NOAA (США), FY-1C/D (Китай), приемника HR 300 для приема HRPT и GPS-антенны для коррекции времени по навигационным спутникам.

В результате выполненного анализа определено, что в настоящее время в Сахалинской области крупномасштабная топографическая основа (1:50 000) имеется не для всей территории области. Поэтому необходимо создать систему обеспечения картографическими материалами в крупных масштабах, необходимыми для визуализации результатов мониторинга земель. Воплощать в жизнь такую систему следует с помощью геопортальных технологий.

Разработка региональной системы мониторинга земель

Разработка подсистемы сбора, хранения данных и обеспечения доступа к ним

Обобщенный опыт показывает, что формирование региональной системы мониторинга земель целесообразно начинать с создания геопортала, который должен обеспечивать доступ к данным всем

участникам (администраторам и потребителям). Методологических подходов на начальном этапе построения архитектуры системы может быть несколько. В данном случае предлагаем выбрать один из двух вариантов доступа к данным. Данные о мониторинге земель можно разместить на геопортале инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации, доступ к которому обеспечивается Росреестром, или создать аналогичный новый ресурс.

Основными компонентами архитектуры геопортала должен быть центральный узел региональной системы мониторинга земель и ее периферийные узлы, расположенные в районах и на предприятиях. Центральный узел разрабатывается и внедряется как один из узлов интегрированной сети Российской информационной системы пространственных данных.

Архитектура геопортала должна включать [54]:

- подсистему метаданных, позволяющую вести поиск в базе метаданных, а также в регистрах подсистем данных, прикладных схем и сервисов;
- подсистему данных, обеспечивающую хранение данных, их преобразование в стандартизованное представление и обратно для привычной визуализации;
- подсистему прикладных схем, включающих легенды карт различного тематического содержания;
- подсистему сервисов, которая будет содержать:
 - поисковые сервисы, позволяющие искать наборы данных на основе метаданных;
 - сервисы визуализации, предоставляющие возможности просмотра данных;
 - сервисы для скачивания информации, позволяющие копировать наборы пространственных данных, а также обеспечивающие прямой доступ к данным;
 - сервисы, дающие возможность трансформировать наборы пространственных данных для удобства пользования;
 - возможности геокодирования для связи географического названия пространственного кода и т. д. с определенным пространственным представлением;
 - сервисы для вызова других (удаленных) сервисов.

Интерфейс системы представлен веб-порталом, поэтому основным методом доступа пользователя к информации является обычный доступ к веб-страницам через любой браузер. При разработке архитектуры геопортала необходимо отдавать приоритет обеспечению защиты информации и стабильности работы системы, а также организации сетевого взаимодействия участников, позволяющего повысить стабильность работы системы за счет создания нескольких центральных серверов. Таким образом, при отказе одной из серверных станций система продолжает функционировать и обрабатывать заявки пользователей [55, 56].

Иные способы доступа к хранилищам данных при современном уровне развития геоинформационных технологий реализовать намного сложнее, поэтому не представляется возможным обеспечить высокую точность географической привязки к крупномасштабной топографической основе без доступа к системе атласного геоинформационного картографирования с помощью геопортальных технологий.

Разработка подсистемы приема данных дистанционного зондирования

Сформировать систему регионального мониторинга, позволяющую оперативно оценивать текущее состояние земель на современном этапе развития науки и техники невозможно без использования данных дистанционного зондирования.

Как показывает опыт, станция УниСкан™ или ее аналоги позволяют осуществлять прием данных в режиме реального времени в радиусе до 2,5 тыс. км как с российских (Метеор-М, Канопус В, Ресурс-П), так и зарубежных космических аппаратов (TERRA, Aqua, Suomi NPP, FengYun-3, SPOT 6/7, EROS-B, Landsat-8, Sentinel-1A, KOMPSAT-3, RADARSAT-2, TERRA (SAR-X), COSMO-SkyMed и др.) (табл. 1) [57–64].

Дешифрирование космических снимков позволяет создавать оценочные карты фактического состояния земель. Сравнение разновременных снимков позволяет строить карты динамики природных процессов. С их помощью можно оценивать динамику развития процессов и явлений в конкретных геосистемах и уже на этих данных основывать прогноз. Для решения конкретных оценочных и аналитических задач космические снимки должны иметь определенную разрешающую способность, съемки должны выполняться через установленный период времени. Выполненные эксперименты и анализ опыта работы с данными дистанционного зондирования в ведомствах на территории Сахалинской области показали, что при наличии финансовой поддержки крупномасштабные картографические материалы можно регулярно обновлять, обеспечивая их достаточно высокое качество.

Разработка алгоритмов и технологий системного атласного геоинформационного картографирования

Любая система, которая предназначена для анализа пространственно-ориентированных данных, не может корректно отображать их распределение в пространстве без выполнения при предварительной обработке точной координатной привязки.

Алгоритмы и технологии системы регионального мониторинга земель (рис. 4) должны обеспечить выполнение картографирования в требуемых масштабах и решение аналитических задач с целью выявления состояния экосистем и земельных ресурсов.

Таблица 1. Характеристики спутниковых комплексов, доступных для станций приема типа «УниСкан» в Сахалинской области [57–64]

Table 1. Characteristics of the satellite systems, available for UniScan-type receiving stations in Sakhalin region [57–64]

Спутниковая система Satellite system	Разрешение, м Resolution, m	Ширина полосы съемки, км Swath width, km	Периодичность съемки (раз в сутки) Shooting frequency (times in day)	Кол-во каналов/тип получаемых данных Number of channels/type of data received
Terra, Aqua	250–1000	2300	1–2	36/мультиспектральный 36/multispectral
NOAA	1100	3000	3–4	5/мультиспектральный 5/multispectral
Suomi NPP	375/750 м на краях полосы 375/750 on the edges of the band	3000	1–2	22/мультиспектральный 22/multispectral
Landsat 8	15 м в панхр./30–100 15 m in panchromatic/30–100	185	1 раз в 16 дней 1 times in 16 days	11/панхроматический/мультиспектральный 11/panchromatic/multispectral
SPOT 6/7	1,5/6	60	2	5/панхроматический/мультиспектральный 5/panchromatic/multispectral
Zi Yuan (ZY)-1-02C	2,3 м в панхр./6 2,3 m in panchromatic/6	54/60		3 панхроматические камеры/ мультиспектральный 3 panchromatic camera/multispectral
IRS-P6	6 м в панхр./23–50 6 m in panchromatic/23–50	70/148	1 раз в 24 дня 1 times in 24 days	5/панхроматический/мультиспектральный 5/panchromatic/multispectral
Sentinel-2	20/60	290	от 5 на экваторе до 2–3 в средних широтах 5 times at the equator 2–3 times in the mid-latitudes	12/панхроматический/мультиспектральный 12/panchromatic/multispectral

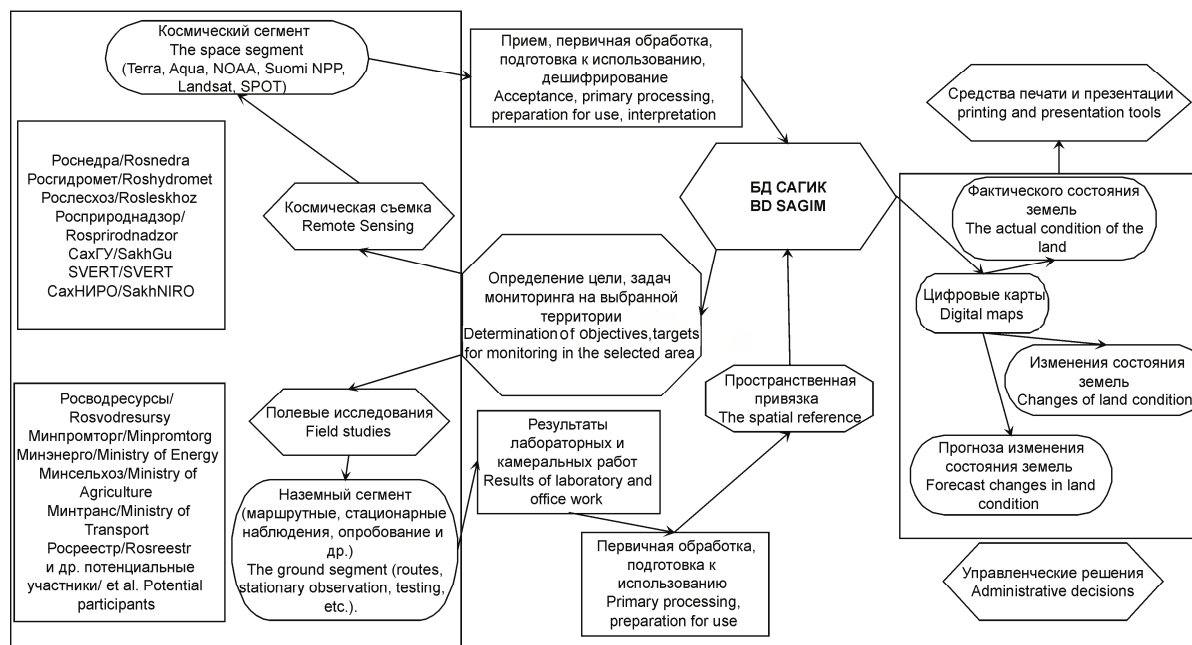


Рис. 4. Принципиальная схема организации системы регионального мониторинга земель

Fig. 4. Schematic diagram of organization of the Regional land monitoring system

Информация в базах данных (БД) разделяется по компонентам географической оболочки, а затем по трем масштабным уровням контролируемого процесса или явления, что облегчает систематиза-

цию информации в БД атласного геоинформационного картографирования. Далее нами определены требования к периодичности наблюдений для конкретных решаемых задач, которые проводятся ре-

Таблица 2. Спутниковая информация и периодичность ее получения, достаточная для функционирования системы регионального мониторинга [65–68]

Table 2. Satellite information and periodicity of its receiving, sufficient for the Regional monitoring system functioning [65–68]

Геосистемы Geosystems	Решаемые задачи Solved problem	Периодичность наблюдений Frequency of observations	Обеспечивающие спутники Providing satellites
Литосфера Lithosphere	изменения в тектоносфере changes in tectonosphere	по факту as received	Terra, Aqua (MODIS), Suomi NPP
	сейсмического районирования seismic zoning	10 лет, по факту 10 years, by fact	Landsat 8
	изменения земной поверхности changes in the earth's surface мониторинг геологических процессов monitoring of geological processes мониторинг нарушенных земель monitoring of disturbed lands мониторинг затопляемых земель monitoring of flooded land	1 год, по факту 1 year, as received 1 год, по факту 1 year, as received 1 год, по факту 1 year, as received 10 лет, по факту 10 years, as received	SPOT 6–7, Landsat 8, Zi Yuan (ZY)-1-02C, Sentinel-2
Атмосфера Atmosphere	мониторинг переноса вулканического пепла monitoring of volcanic ash transfer мониторинг циклонов monitoring of cyclones	сутки, по факту day, as received	Terra, Aqua, Suomi NPP, NOAA
	изменения радиационного баланса changes in radiation balance	сутки day	Terra, Aqua, Suomi NPP
	мониторинг загрязнения атмосферного воздуха monitoring of atmospheric air pollution		Terra, Aqua, Suomi NPP, SPOT 6/7
Гидросфера Hydrosphere	измерение температуры, волнения моря temperature measurement and rough seas	1 месяц, по факту 1 month, by fact	Terra, Aqua, Suomi NPP
	мониторинг загрязнения водных объектов monitoring of water pollution		Terra, Aqua, Suomi NPP, SPOT 6/7, Landsat 8
	изменения размеров и положения водных объектов change in size and position of water reservoirs мониторинг наводнений flood monitoring мониторинг ледового и снежного покрова monitoring of ice and snow cover	10 лет, по факту 10 years, as received по факту as received сутки (в сезон) day (in season)	SPOT6/7, Landsat 8, Terra, Aqua, Suomi NPP, Sentinel-2
Биосфера Biosphere	районирование лесов и почв zoning of forests and soil мониторинг лесистости monitoring of forest cover	20 лет 20 years 1 год 1 year	Landsat 8, SPOT 6/7, Terra, Aqua MODIS
	мониторинг типологического состава и продуктивности угодий monitoring of typological composition and land productivity мониторинг состояния почв monitoring of soil condition	5 лет 5 years 2 года 2 years	Landsat 8, SPOT 6/7, Zi Yuan (ZY)-1-02C
	мониторинг состояния и границ растительного покрова monitoring of vegetation status and borders изменения биомассы biomass change	1 год 1 year 1 месяц 1 month	SPOT 5–7, Landsat 8, Terra, Aqua MODIS
Техносфера Technosphere	мониторинг геоэкологических проблем monitoring of geoeological problems	1 год 1 year	Terra, Aqua, Suomi NPP
	мониторинг ЧС monitoring of emergencies	по факту by fact	Landsat 8, SPOT 6/7, Sentinel-2
	мониторинг состояния и использования земель monitoring of lands condition and use	1 год 1 year	Landsat 8, SPOT 6/7, Zi Yuan (ZY)-1-02C, Sentinel-2

гулярно через определенные интервалы времени. Также определены спутниковые системы, способные извлечь данные для решения поставленных задач (табл. 2).

Создание карты любого тематического содержания начинается с выбора математической основы. В качестве математической основы САГИК целесообразно использовать базовые параметры, широко используемые в ArcGIS: референц-эллипсоид – ГСК-2011, проекция для карт масштабов крупнее 1:1 000 000 – Гаусса–Крюгера, мельче – нормальная коническая равнопромежуточная по меридианам, датум – ПЗ-90 [65]. Используемый масштабный ряд: 1:100 000 – 1:1 000 000. В ArcGIS при переходе от одного масштаба к другому можно проводить генерализацию при помощи набора инструментов модуля ArcToolBox, через свойства слоя или же используя атрибутивную выборку.

Для построения векторной географической основы используются топографические карты Генштаба, Росреестра, ГосГисЦентра, ЦМР – SRTM и космические снимки.

Организация обработки данных в системе регионального мониторинга земель осуществляется с помощью САГИК. Для обеспечения построения оперативных тематических карт с высокой детальностью необходимо сформировать БД, насыщенную информацией, полученной при оцифровке существующих карт, а также фондовой, литературной и данными космической съемки (рис. 5).

Данные, поступающие в БД, обеспечиваются пространственной привязкой. Выполняется тематическое дешифрирование данных ДЗЗ. Результаты векторизуются и обеспечиваются атрибутивной информацией.

В БД содержится характерная для региона информация о компонентах среды, которая помогает обеспечить мониторинг земель тематическими картами с учетом местной специфики, а также наборы условных знаков для карт определенной тематической направленности.

Для обеспечения мониторинга земель региона кроме традиционных тематических разделов должен быть обязательно включен блок карт «Современное состояние и мониторинг земель» (табл. 3).

Блок насыщается картами фактического состояния земель, оценки его динамики и прогнозными. Кроме того, составляются карты рекомендательного характера с определенными эталонными участками, предназначенными для наземных подспутниковых наблюдений. Для принятия управленческих решений создаются прогнозные карты для целенаправленной нейтрализации негативных процессов. При анализе данных должны использоваться статистические методы [69, 70].

Поступление новых данных, их обработка, составление карт пополняют базы данных, тем самым образуя структуру системы, обеспечивающую мониторинг земель.

Данные мониторинга состояния экосистем (в том числе земель различного назначения) необходимо проводить покомпонентно, учитывая специфику физико-географических особенностей исследуемого региона. Все данные о процессах, характерных для изучаемого региона, целесообразно представлять в виде карт различного тематического содержания. Обеспечить насыщение информацией тематических карт можно при помощи разработанных технологических схем для каждого из районов островного региона, которые в совокупности будут

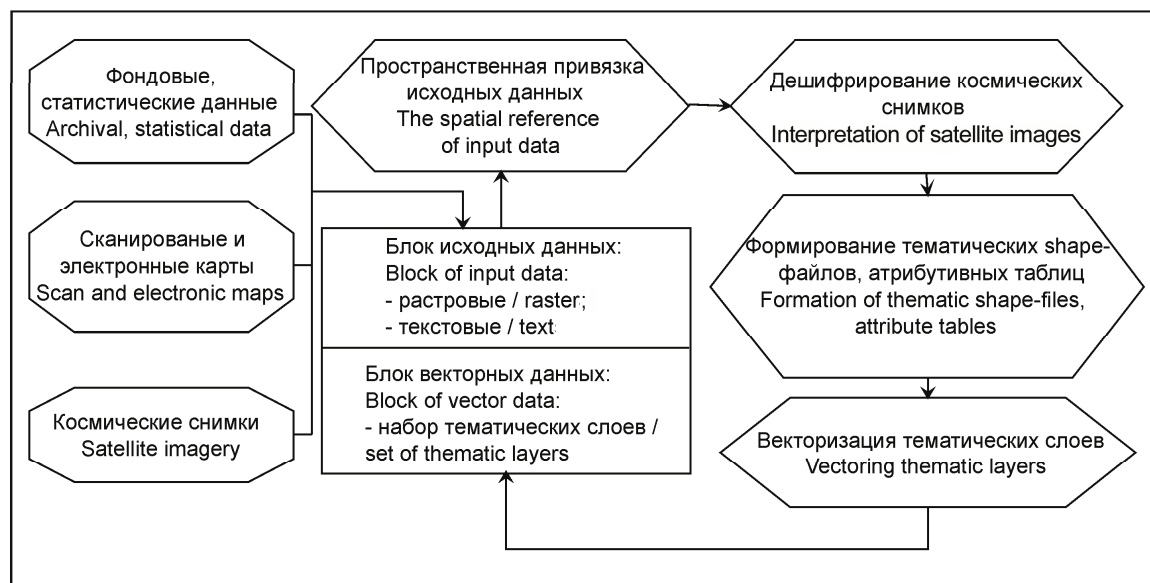


Рис. 5. Структура БД системного геоинформационного атласного картографирования Сахалинской области

Fig. 5. Structure of the database of systematic atlas geoinformation mapping for Sakhalin region

Таблица 3. Структура блока карт «Современное состояние и мониторинг земель»

Table 3. Structure of the block of maps «Current state and monitoring of lands»

Карты рекомендуемых эталонных участков для наземных подспутниковых наблюдений Maps of the recommended reference lands for ground-based ground truth observations	
Карты качественной и количественной оценки состояния земель (степени развития): Maps of qualitative and quantitative evaluation of land status (degree of development):	
эрозионных процессов erosion processes подтопления земель lands flooding переувлажненности земель lands overmoistened захламленности земель lands dirtiness загрязненности земель нефтью и нефтепродуктами lands contamination with oil and oil products	склоновых процессов slope processes заболоченности земель lands waterlogged нарушенности земель lands disturbance загрязненности тяжелыми металлами contamination with heavy metals
Карты динамики процесса Map of process dynamics	
Прогнозные карты развития процесса Forecast maps of process development	
Карты рекомендуемых мероприятий по уменьшению влияния негативных процессов Maps of recommended actions to reduce the impact of negative processes	

служить основой для системного атласного геоинформационного картографирования, что позволит оценить состояние земель и в конечном итоге сделать мониторинг достоверным и оперативным.

Рассмотрим пример того, как разработанные алгоритмы сбора информации из разных источников и технологические схемы (рис. 6), по которым возможно построение тематических карт, применяя ГИС и данные ДЗЗ, позволяют оценивать динамику протекающих процессов.

Выявление распространенности земель, нарушенных в результате деятельности горнодобывающих производств, зафиксированное на разновременных космических снимках, позволяет выполнить оценку этих изменений. Снимки подвергались цифровой обработке, визуально анализировались и дешифрировались. Выделенные участки векторизованы и перенесены на карту изменений площади нарушенных земель промышленности (рис. 7). Так, в 1995 г. площади нарушенных земель составили 82,39 га, а к 2014 г. – 513,54 га. Результаты численной оценки показывают, что площадь нарушенных земель за 19 лет увеличилась на 431,15 га.

Далеко не все задачи по оценке состояния земель можно решить, опираясь на доступную космическую информацию. Одним использованием космических снимков невозможно обеспечить универсальность и высокую точность результатов регионального мониторинга. Повышению точно-

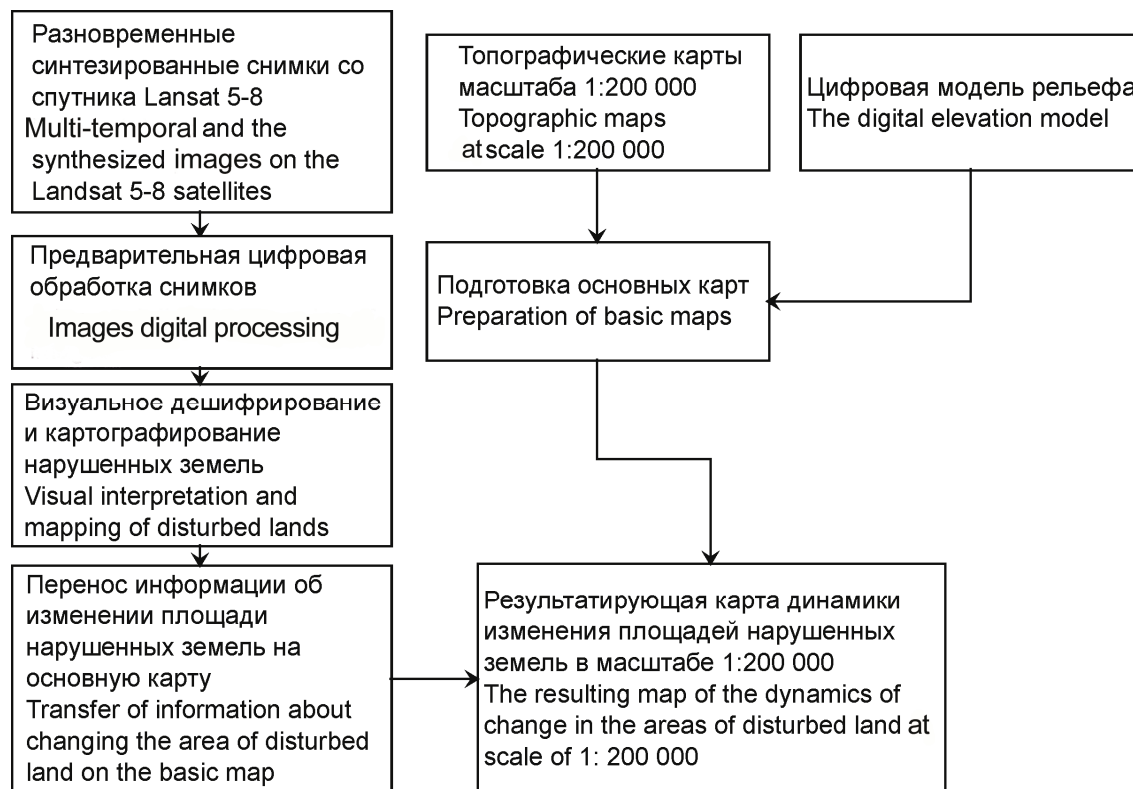


Рис. 6. Технологическая схема построения карты динамики нарушенности земель

Fig. 6. Technological scheme of mapping the dynamics of land disturbance

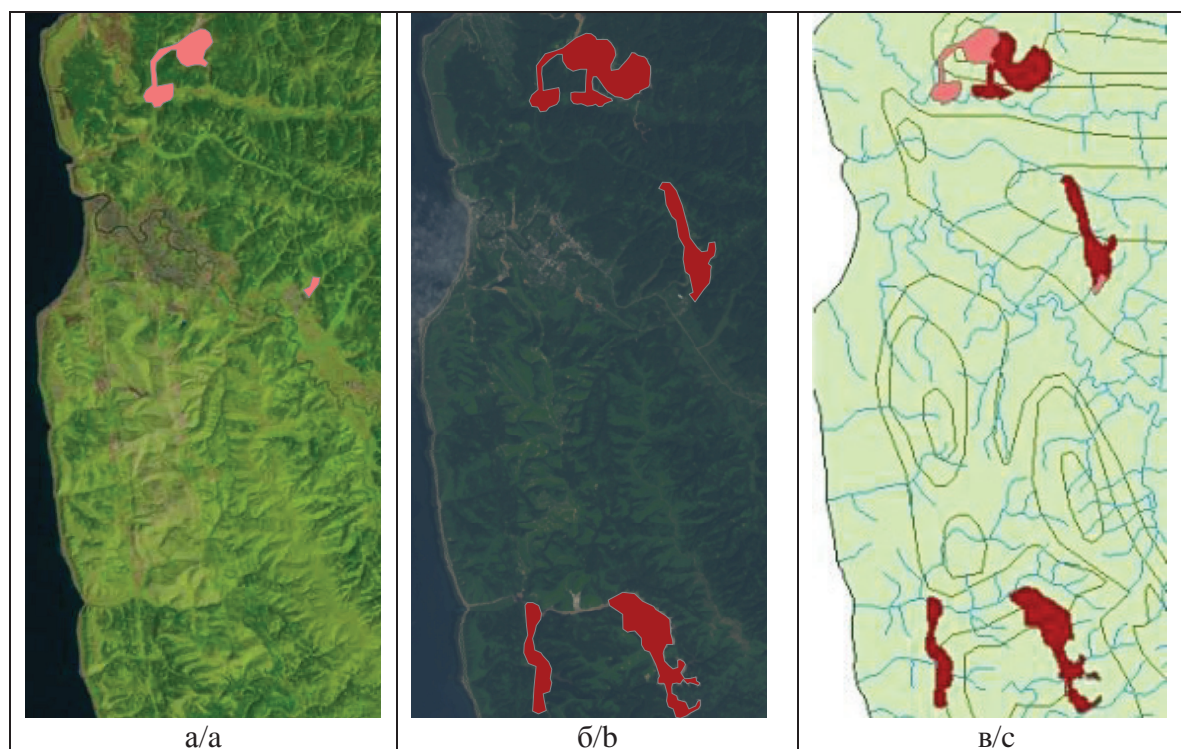


Рис. 7. Нарушенные земли на космических снимках: а) в 1995; б) 2014 г.; в) фрагмент результирующей карты изменения площади нарушенных земель

Fig. 7. Disturbed lands on the space images in: a) 1995; b) 2014; c) the fragment of the resulting map of the change in the disturbed lands area

сти результатов дешифрирования снимков поможет проведение узконаправленных либо комплексных наблюдений на местности. Однако подобные исследования значительно повысят затраты на проведение мониторинга.

Тем не менее предлагаемая система регионального мониторинга вполне способна значительно повысить оперативность и эффективность его проведения в Сахалинской области за счет кооперации, согласованной деятельности всех участников, исключая дублирующие работы по решению задач, накоплению данных, полученных при осуществлении космического и наземного мониторинга в совместно используемой БД системного атласного геоинформационного картографирования.

Заключение

Анализ деятельности в области мониторинга земель показал, что она организована практически во всех странах в рамках национальных систем мониторинга природной среды, которые прилагают немалые усилия для объединения в единую глобальную систему. В состав национальных систем входят подсистемы космического мониторинга. К настоящему времени сформирована концепция и основные принципы организации IGMASS, или МАКСМ, которая будет обеспечивать наблюдение за состоянием околоземного космического про-

странства, атмосферы и литосферы, сбора и анализа информации и своевременного предупреждения о всевозможных угрозах. В Сахалинской области крупномасштабная топографическая основа (1:50 000) имеется не для всей территории области. Предстоит большая работа по созданию базы данных о состоянии территории.

Работу картографических сервисов систем регионального мониторинга земель можно обеспечить только путем точной привязки пространственных данных с использованием системного атласного геоинформационного картографирования с оперативным обновлением информации в БД, на основе данных дистанционного зондирования, подтвержденных наземными исследованиями.

Многообразие видов мониторинга по масштабу и видам наблюдаемых процессов может обеспечить высокоточное тематическое картографирование оперативным обновлением на основе ДЗЗ с использованием современных ГИС-технологий, таких как программная среда ArcGIS.

В ходе нашей работы определены параметры математической основы, разработана структура БД и алгоритмы сбора данных о состоянии отдельных компонентов среды, в том числе земель, для создания системного атласного геоинформационного картографирования Сахалинской области в программной среде ArcGIS, которая дает возмож-

ность выполнять в кратчайшие сроки разномасштабное тематическое картографирование и производить обновление карт.

В итоге выполненного исследования:

- разработаны рекомендации по организации системы мониторинга Сахалинской области, определен ее состав, техническое оснащение;
- предложено решать задачи, поставленные перед региональным мониторингом земель конкретного масштаба с применением системного атласного геоинформационного картографирования и доступных данных ДЗЗ;
- рекомендована система регионального мониторинга, которая способна повысить оператив-

ность и эффективность его проведения в Сахалинской области за счет кооперации, согласованной деятельности всех участников.

Таким образом, разработана теория и заложена методологическая основа системного атласного геоинформационного картографирования территории Сахалинской области, на базе которой возможно организовать комплексный мониторинг земель в регионе с использованием существующих геопорталов, а в лучшем случае – с применением вновь созданного специализированного геопортала. Прием спутниковой информации должен осуществляться наземными станциями приема, расположенными в регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. В 2 кн. Кн. 1: Пространство и время в неживой и живой природе. – М.: Наука, 1975. – 173 с.
2. Земельный кодекс Российской Федерации от 25.10.2001 № 136-ФЗ (ред. от 30.12.2015) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.01.2016). URL: <http://legalacts.ru/kodeks/ZK-RF/> (дата обращения: 10.06.2016).
3. Stockholm Declaration on the Human Environment // Report of the United Nations Conference on the Human Environment, UN Doc.A/CONF.48/14, at 2 and Corr.1 (1972).
4. Волков С.Н. Опыт землеустройства на землях сельскохозяйственного назначения в США и Канаде. – М.: ГУЗ, 2012. – 44 с.
5. Emmelin L., Cherp A. National environmental objectives in Sweden: a critical reflection // Journal of Cleaner Production. – 1 June 2016. – V. 123. – P. 194–199.
6. Monitoring and predicting the fecal indicator bacteria concentrations from agricultural, mixed land use and urban stormwater runoff / M.A. Paule-Mercado, J.S. Ventura, S.A. Memon, D. Jahng, J.-H. Kang, C.-H. Lee // Science of the Total Environment. – 15 April 2016. – V. 550. – P. 1171–1181.
7. Постановление Совета министров – Правительства Российской Федерации от 24 ноября 1993 года № 1229 «О создании Единой государственной системы экологического мониторинга» // Собрание актов Президента и Правительства РФ, 29.11.1993, № 48, ст. 4661. URL: <http://base.garant.ru/2108166/> (дата обращения: 10.03.2016).
8. Положение о государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды) (с изменениями на 10 июля 2014 года). URL: <http://standartgost.ru/g/pkey-14293779851> (дата обращения: 10.03.2016).
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 9 августа 2013 года № 681 «О государственном экологическом мониторинге (государственном мониторинге окружающей среды) и государственном фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды)» // Собрание законодательства Российской Федерации, 07.04.2003, № 14. URL: <http://base.garant.ru/70430724/> (дата обращения: 10.03.2016).
10. Савиных В.П. Информационное обеспечение научных и прикладных исследований на основе космической информации // Перспективы науки и образования. – 2015. № 2 (14). – С. 51–59.
11. Бондур В.Г., Зверев А.Т. Механизмы формирования линейментов, регистрируемых на космических изображениях при мониторинге сейсмоопасных территорий // Исследование Земли из космоса. – 2007. – № 1. – С. 47–56.
12. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. – М.: Научный мир, 2009. – 692 с.
13. Remote Sensing of Ships and Offshore Oil Platforms and Mapping the Marine Oil Spill Risk Source in the Bohai Sea / Qianguo Xing, Ruolin Meng, Mingjing Lou, Lei Bing, Xin Liu // Aquatic Procedia. – March 2015. – V. 3. – P. 127–132.
14. Pisoni J.P., Rivas A.L., Piola A.R. Satellite remote sensing reveals coastal upwelling events in the San Matias Gulf – Northern Patagonia // Remote Sensing of Environment. – September 2014. – V. 152. – P. 270–278.
15. Малинников В.А. Теория и методы информационного обеспечения мониторинга земель: Тематическая обработка видеоизображений: дис.... д-ра тех. наук: 05.24.04. – М., 1999. – 351 с.
16. Predicting eruptions from precursory activity using remote sensing data hybridization / K.A. Reath, M.S. Ramsey, J. Dehn, P.W. Webley // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 15 July 2016. – V. 321. – P. 18–30.
17. Прогнозирование взрывных вулканических извержений по данным дистанционного зондирования / В.А. Мелкий, Ю.М. Черниговский, Д.В. Долгополов В.С. Марчуков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1998. – № 3. – С. 123–129.
18. Мелкий В.А., Ферберова Л.В. Разработка методики автоматизированного дешифрирования опустыненных территорий по аэрокосмическим изображениям // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1998. – № 6. – С. 130–144.
19. Мелкий В.А., Марчуков В.С., Шитикова М.В. Мониторинг сейсмической опасности Алтайско-Саянской складчатой зоны по данным дистанционного зондирования // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1999. – № 3. – С. 107–118.
20. Садов А.В. Аэрокосмические методы в инженерной геодинимике. – М.: Недра, 1988. – 206 с.
21. Лебедев П.П., Сизов А.П. Картографическая составляющая системы мониторинга городских земель // География и природные ресурсы. – 2012. – № 4. – С. 150–154.
22. Сизов А.П. Экологические основы землепользования в сверхкрупном городе. – М.: Русайнс, 2015. – 120 с.
23. Liu Ting, Yang Xiaojun. Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics // Applied Geography. – January 2015. – V. 56. – P. 42–54.
24. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство «А и Б», 1997. – 296 с.

25. Кринов Е.Л. Спектральная отражательная способность природных образований. М.; Л.: АН СССР, 1947. – 272 с.
26. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли: Основы и методы дистанционных исследований в геологии. – М.: Мир, 1988. – 349 с.
27. Зверев А.Т., Гаврилова В.В. Разработка теории и методов оценки и прогноза состояния природных ресурсов с использованием космических снимков // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 5. – С. 44–47.
28. Сладкопепцев С.А. Достижения и проблемы геоморфологии, картографии, геоэкологии и прикладной космонавтики. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2013. – 199 с.
29. Mapping slope movements in Alpine environments using TerraSAR-X interferometric methods / Ch. Barboux, T. Strozzi, R. Delaloye, U. Wegmüller, C. Collet // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – November 2015. – V. 109. – P. 178–192.
30. Верещака Т.В., Качаев Г.А. Топографические карты в системе экодиагностики территории: оценка информативности природных объектов // Геодезия и картография. – 2011. – № 10. – С. 14–19.
31. Атаев З.В., Братков В.В. Динамика селитебной освоенности ландшафтов формирующейся Махачкалинско-Каспийской агломерации (на основе данных дистанционного зондирования) // Мониторинг. Наука и технологии. – 2013. – № 4. – С. 11–16.
32. Балгуев Т.Р., Братков В.В. Оценка внутригодовой изменчивости территории о-ва Тюлений (по материалам дистанционного зондирования) // Мониторинг. Наука и технологии. – 2015. – № 1. – С. 44–51.
33. Дистанционное зондирование территории Северного Кавказа / В.В. Братков, Ш.Ш. Заурбеков, П.В. Ключин, А.Н. Марьин // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2011. – № 4 (76). – С. 69–80.
34. Using remote sensing products to classify landscape. A multi-spatial resolution approach / P. Garcia-Llamas, L. Calvo, J.M. Álvarez-Martínez, S. Suárez-Seoane // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – August 2016. – V. 50. – P. 95–105.
35. The integration of Artificial Night-Time Lights in landscape ecology: a remote sensing approach / Marcantonio Matteo, Pareeth Sajid, Rocchini Duccio, Metz Markus, Garzon-Lopez Carol X., Neteler Markus // Ecological Complexity. – June 2015. – V. 22. – P. 109–120.
36. Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in Moncayo Natural Park (Spain) / Martínez del Castillo Edurne, García-Martin Alberto, Aladrén Luis Alberto Longares, Luis Martín // Applied Geography. – August 2015. – V. 62. – P. 247–255.
37. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И. Тематическое дешифрирование многозональных космических снимков // Исследование Земли из космоса. – 1980. – № 1. – С. 88–94.
38. Kronberg P. Zur geologischen auswertung von luftbildern // Photogrammetria. – December 1969. – V. 25. – Iss. 2–3. – P. 75–85.
39. Основные задачи и перспективы создания системы глобального спутникового мониторинга лесов / С.А. Бартаев, Д.В. Ершов, А.С. Исаев, Е.А. Лупян // Лесоведение. – 2011. – № 6. – С. 3–15.
40. Бартаев С.А., Лупян Е.А. Исследования и разработки ИКИ РАН по развитию методов спутникового мониторинга растительного покрова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10. – № 1. – С. 197–214.
41. Rahman Naima, Ansary Mehedi A., Islam Ishrat. GIS based mapping of vulnerability to earthquake and fire hazard in Dhaka city, Bangladesh // International Journal of Disaster Risk Reduction. – September 2015. – V. 13. – P. 291–300.
42. El Baroudy A.A. Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model // CATENA. – May 2016. – V. 140. – P. 96–104.
43. Геоморфологический мониторинг лагунных берегов Сахалина / П.Ф. Бровко, А.В. Малюгин, Н.С. Терентьев, В.Н. Храмушин // Мореходство и морские науки: избранные доклады 4-й Сахалинской региональной морской научно-технической конференции. – Южно-Сахалинск: Сахалинская областная типография, 2013. – С. 133–142.
44. Вулканологические исследования на Курильских островах: итоги и перспективы / В.М. Гранник, А.В. Рыбин, Б.Н. Пискунов, М.В. Чибисова // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2011. – № 6 (160). – С. 13–18.
45. Рыбин А.В., Чибисова М.В., Коротеев И.Г. Проблемы мониторинга вулканической активности на Курильских островах // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2010. – № 3. – С. 64–71.
46. Гордеев Е.И., Гирина О.А. Вулканы и их опасность для авиации // Вестник Российской академии наук. – 2014. – Т. 84. – № 2. – С. 134–142.
47. Kirianov V.Yu. Volcanic Ash in Kamchatka as a Source of Potential Hazard to Air Traffic // Volcanic Ash and Aviation Safety: Proc. First Intern. Symp. on Volcanic Ash and Aviation Safety // US Geological Survey Bull. – 1992. – V. 2047. – P. 57–63.
48. Гирина О.А., Гордеев Е.И. Проект KVERT – снижение вулканической опасности для авиации при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. – 2007. – № 2. – С. 100–109.
49. The Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team (KVERT) Fact Sheet 064-02 / V.Yu. Kirianov, Ch.A. Neal, E. Gordeev, T.P. Miller, J.W. Hendley II, P. Stauffer. URL: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/fs06402/> (дата обращения: 11.03.2016).
50. Организация исследований по оценке экологического состояния морских акваторий средствами дистанционного зондирования / А.И. Алексанин, В.А. Качур, Т.Ю. Орлова, А.Н. Павлов, П.А. Салюк // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т. 7. – № 3. – С. 131–138.
51. Онлайн-камеры на вулканах Камчатки // CamDV онлайн-камеры и трансляции на Дальнем Востоке. URL: <http://camdv.ru/city/12/> (дата обращения: 11.03.2016).
52. Наземный комплекс приема, обработки, архивации и распространения спутниковой информации Росгидромета // Сайт ФГБУ НИЦ «Планета», Москва, Россия. URL: <http://http://planet.rssi.ru/index31.html> (дата обращения: 11.03.2016).
53. Сектор инструментального мониторинга среды // Сайт СахНИРО. URL: http://www.sakhniro.ru/page/sector_environmental_monitoring/ (дата обращения: 11.03.2016).
54. Кошкарев А.В., Ряховский В.М., Серебряков В.А. Инфраструктура распределенной среды хранения, поиска и преобразования пространственных данных // Открытое образование. – 2010. – № 5. – С. 61–72.
55. Горобцов С.Р., Подрядчикова Е.Д. Сравнительный анализ современного российского опыта геопортальных решений для целей муниципального управления // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2014. – Т. 3. – № 2. – С. 150–158.
56. Дубровский А.В. Возможности применения геоинформационного анализа в решении задач мониторинга и моделирования пространственных структур // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5. – С. 236–242.
57. Copernicus: Sentinel-1 – The SAR Imaging Constellation for Land and Ocean Services // Sharing Earth Observation Recourses. URL: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/sentinel1> (дата обращения: 12.03.2016).

58. China Integrated Earth Observation System (2016–2025) // China GEO 2025 Expert Group. Sept. 9, 2015. URL: <http://tinyurl.com/z2814f9> (дата обращения: 11.03.2016).
59. Earth Observation Satellites // Canadian Space Agency. URL: <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/default.asp> (дата обращения: 11.03.2016).
60. Iannotta B. SPOT Image plans strategy of efficiency // Space News. – 1999. – V. 10. – № 38. – P. 16.
61. Observing the Earth // Space for Europe. URL: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth (дата обращения: 11.03.2016).
62. Programme on Space Applications // United Nations Office for Outer Space Affairs. URL: http://www.unoosa.org/pdf/publications/ST_SPACE_52_Rev1.pdf (дата обращения: 12.06.2016).
63. Sentinel 3A, 3B, 3C, 3D // Gunter's Space Page. URL: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/sentinel-3.htm (дата обращения: 12.03.2016).
64. The Suomi-NPP (National Polar-orbiting Partnership) // National Aeronautics and Space Administration. URL: <https://jointmission.gsfc.nasa.gov/suomi.html> (дата обращения: 12.03.2016).
65. Mohamed A.E. Abdel Rahman, Natarajan A., Srinivasamurthy C.A., Rajendra Hegde. Estimating soil fertility status in physically degraded land using GIS and remote sensing techniques in Chamarajanagar district, Karnataka, India // Египт. J. Remote Sensing Space Sci. – 2016. – № 2. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.12.002> (дата обращения: 12.03.2016).
66. Lillesand T., Kiefer R.W., Chipman J. Remote sensing and image interpretation. Seventh Edition. – New York: John Wiley & Sons, 2015. – 768 p.
67. Experimental Sentinel-2 LAI estimation using parametric, non-parametric and physical retrieval methods – a comparison / J. Verrelst, J.P. Rivera, F. Veroustraete, J. Muñoz-Mari, J.G. Clevers, G. Camps-Valls, J. Moreno // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2015. – V. 108. – P. 260–272.
68. Whitcraft A.K., Becker-Reshef I., Justice C.O. A framework for defining spatially explicit Earth Observation requirements for a global agricultural monitoring initiative (GEOGLAM) // Remote Sensing. – 2015. – V 7. – № 2. – P. 1461–1481.
69. Kumar S., Radhakrishnan N., Mathew S. Land use change modeling using a Markov model and remote sensing // Geomatics. Natural Hazards and Risk. – 2014. – V. 5. – № 2. – P. 145–156.
70. A Markov Chain Model of Land Use Change / M. Iacono, D. Levinson, A. El-Geneidy, R. Wasfi // TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment. – 2015. – V. 8. – № 3. – P. 263–276.

Поступила 06.04.2016 г.

Информация об авторах

Верхотуров А.А., старший преподаватель кафедры геологии и природопользования Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета.

Мелкий В.А., доктор технических наук, заведующий кафедрой геологии и природопользования, директор Технического нефтегазового института Сахалинского государственного университета.

UDC 528.88: 528.856: 502.065

DEVELOPMENT OF LAND REGIONAL MONITORING SYSTEMS BASED ON ATLAS MAPPING

Aleksey A. Verkhoturov¹,
ussr-91@mail.ru

Vyacheslav A. Melkiy¹,
vamelkiy@mail.ru

¹ Sakhalin State University,
42, Pogranichnaya street, Yuzhno-Sakhalinsk, 693008, Russia.

The relevance of the work is caused by the fact that evaluation of the current status of land, determining the character of changes in the components of natural systems, prediction of activation of the negative processes of changing landscapes and all components of ecosystems, are not possible without high-quality data that can be obtained only through the well-organized monitoring systems at the regional level.

The aim of the research is to analyze the possibilities of systems for environmental monitoring; to find out the correlations of the external manifestations in the relief of internal natural processes and their causes; to define the indicators of processes orientation; to develop the recommendations to optimize the functioning of regional systems of monitoring based on atlas geographic information system (GIS) mapping.

Research methods. The authors have carried out the analysis of technical capabilities of the receiving stations of satellite data from the TERRA spacecraft, Landsat, NOAA and others at the regional level in Sakhalin region. When carrying out the researches the authors used the methods of mathematical and geospatial mapping, statistical, complex physical-geographical, spatial analysis, thematic interpretation, etc.

Results. The authors developed the recommendations on organizing the monitoring system of Sakhalin region and defined its composition and technical equipment. It was proposed to solve the problems of a certain scale for regional land monitoring, based on GIS mapping and data of remote sensing of the Earth performed with certain frequency of observations. The system of regional monitoring, which is able to increase the efficiency and effectiveness of its holding in Sakhalin region through cooperation and coordinated activities of all participants, was recommended.

Conclusions. The authors developed the theory and laid the methodological basis of the system of atlas geoinformation mapping of the territory of Sakhalin region, on the basis of which it is possible to organize a comprehensive land monitoring in the region using existing geoportals, and at the best applying the newly created special geoportal. The satellite data should be accepted by the ground receiving stations, located in the region.

Key words:

Land monitoring, GIS mapping, land resources inventory, satellite imagery, environmental protection, geoportal, chart atlas.

REFERENCES

- Vernadskiy V.I. Razmyishleniya naturalista [Thoughts of naturalist]. *Prostranstvo i vremya v nezhyvoy i zhivoy prirode* [Space and time in animate and inanimate nature]. Moscow, Nauka Publ., 1975. B. 1, 173 p.
- «Zemelnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii» ot 25.10.2001 № 136-FZ (redaktsiya ot 30.12.2015) (s izmeneniyami i dopolneniyami, vstupil v silu s 01.01.2016). [«The land code of the Russian Federation» of 25.10.2001 no. 136-Federal Law (as amended on 30.12.2015) (with amendments and additions, in force from 01.01.2016)]. Available at: <http://legalacts.ru/kodeks/ZK-RF/> (accessed 10 March 2016).
- Stockholm Declaration on the Human Environment. *Report of the United Nations Conference on the Human Environment*. UN Doc.A/CONF.48/14, at 2 and Corr.1 (1972).
- Volkov S.N. *Opyit zemleustroystva na zemlyakh selskokhozyaystvennogo naznacheniya v SShA i Kanade* [Experience of land management on agricultural lands in the United States and Canada]. Moscow, State Univ. of Land management Press, 2012. 44 p.
- Emmelin L., Cherp A. National environmental objectives in Sweden: a critical reflection. *Journal of Cleaner Production*, 1 June 2016, vol. 123, pp. 194–199.
- Paule-Mercado M.A., Ventura J.S., Memon S.A., Jahng D., Kang J.-H., Lee C.-H. Monitoring and predicting the fecal indicator bacteria concentrations from agricultural, mixed land use and urban stormwater runoff. *Science of the Total Environment*, 15 April 2016, vol. 550, pp. 1171–1181.
- Postanovlenie Soveta ministrov – Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 24 noyabrya 1993 goda № 1229 «O sozdanii Edinoy gosudarstvennoy sistemy ekologicheskogo monitoringa» [The Decree of Council of Ministers – The Government of the Russian Federation of 24 November 1993 no. 1229 «On creation of the Unified state system of environmental monitoring»]. *Sobranie aktov Prezidenta i Pravitelstva RF* [Collection of Acts of the President and the Government of the Russian Federation], 29.11.1993, no. 48, article 4661. Available at: <http://base.garant.ru/2108166/> (accessed 10 March 2016).
- Polozhenie o gosudarstvennom ekologicheskom monitoringe (gosudarstvennom monitoringe okruzhayushchey sredy) i gosudarstvennom fonde dannykh gosudarstvennogo ekologicheskogo monitoringa (gosudarstvennogo monitoringa okruzhayushchey sredy) (s izmeneniyami na 10 iyulya 2014 goda) [The regulation on State environmental monitoring (State environmental monitoring) and State Fund of data of State environmental monitoring (amended on 10 July 2014)]. Available at: <http://standartgost.ru/g/pkey-14293779851> (accessed 10 March 2016).
- Postanovlenie Pravitelstva Rossiyskoy Federatsii ot 9 avgusta 2013 goda № 681 «O gosudarstvennom ekologicheskom monitoringe (gosudarstvennom monitoringe okruzhayushchey sredy) i gosudarstvennom fonde dannykh gosudarstvennogo ekologicheskogo monitoringa (gosudarstvennogo monitoringa okruzhayushchey sredy)» [The Decree of the Government of the Russian Federation from 9 August 2013 no. 681 «About State Ecological monitoring (State environmental monitoring) and State Fund of data of State environmental monitoring»]. *Sobranie zakonodatelstva*

- Rossiyskoy Federatsii [Collection of Acts of the President and the Government of the Russian Federation], № 14, 07.04.2003.
10. Savinykh V.P. Information support of Scientific and Applied studies based on Space information. *Perspectives of science and education*, 2015, no. 2 (14), pp. 51–59. In Rus.
 11. Bondur V.G., Zverev A.T. Mekhanizmy formirovaniya lineamentov, registriruemykh na kosmicheskikh izobrazheniyakh pri monitoringe seysmopasnykh territoriy [Mechanisms of forming lineaments detected on space images for monitoring earthquake-prone areas]. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics Earth Observation and Remote Sensing*, 2007, no. 1, pp. 47–56.
 12. Bondur V.G., Krapivin V.F., Savinykh V.P. *Monitoring i prognozirovanie prirodnykh katastrof* [Monitoring and forecasting of Natural disasters]. Moscow, Nauchny mir Publ., 2009. 692 p.
 13. Qianguo Xing, Ruolin Meng, Mingjing Lou, Lei Bing, Xin Liu. Remote Sensing of Ships and Offshore Oil Platforms and Mapping the Marine Oil Spill Risk Source in the Bohai Sea. *Aquatic Procedia*, March 2015, vol. 3, pp. 127–132.
 14. Pisoni J.P., Rivas A.L., Piola A.R. Satellite remote sensing reveals coastal upwelling events in the San Matías Gulf–Northern Patagonia. *Remote Sensing of Environment*, September 2014, vol. 152, pp. 270–278.
 15. Malinnikov V.A. *Teoriya i metody informatsionnogo obespecheniya monitoringa zemel. Tematicheskaya obrabotka videoizobrazheniy*. Dis. Dokt. nauk [Theory and methods of information support of land monitoring: Thematic processing of video images. Dr. Diss.]. Moscow, 1999. 351 p.
 16. Reath K.A., Ramsey M.S., Dehn J., Webley P.W. Predicting eruptions from precursory activity using remote sensing data hybridization. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 15 July 2016, vol. 321, pp. 18–30.
 17. Melkiy V.A., Chernigovskiy Yu.M., Dolgoplov D.V., Marchukov V.S. Prognozirovanie vzyvnykh vulkanicheskikh izverzheniy po dannym distantsionnogo zondirovaniya [Forecasting of Explosive volcanic Eruptions by Remote Sensing data]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka*, 1998, no. 3, pp. 123–129.
 18. Melkiy V.A., Ferberova L.V. Razrabotka metodiki avtomatizirovannogo deshifirovaniya opustynnykh territoriy po aerokosmicheskim izobrazheniyam [Development of Technique for Automated interpretation decertified areas by aerospace images]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka*, 1998, no. 6, pp. 130–144.
 19. Melkiy V.A., Marchukov V.S., Shitikova M.V. Monitoring seysmicheskoy opasnosti Altaysko-Sayanskoy skladchatoy zony po dannym distantsionnogo zondirovaniya [The Seismic activity Monitoring in the Altai-Sayan folded area by Remote sensing]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka*, 1999, no. 3, pp. 107–118.
 20. Sadv A.V. *Aerokosmicheskie metody v inzhenernoy geodinamike* [Aerospace methods in engineering geodynamics]. Moscow, Nedra Publ., 1988. 206 p.
 21. Lebedev P.P., Sizov A.P. Mapping component of the Monitoring system of Urban land. *Geography and Natural Resources*, 2012, no. 4, pp. 150–154. In Rus.
 22. Sizov A.P. *Ekologicheskie osnovy zemlepolzovaniya v sverkhkrupnom gorode* [Ecological basis of Land use in Mega City]. Moscow, Rusayns Publ., 2015. 120 p.
 23. Liu Ting, Yang Xiaojun. Monitoring land changes in an urban area using satellite imagery, GIS and landscape metrics. *Applied Geography*, January 2015, vol. 56, pp. 42–54.
 24. Garbuk S.V., Gershenzon V.E. *Kosmicheskie sistemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli* [Space systems of the Earth remote sensing]. Moscow, A and B Publ., 1997. 296 p.
 25. Krinov E.L. *Spektralnaya otrazhatelnaya sposobnost prirodnykh obrazovaniy* [Spectral reflectivity of natural formations]. Moscow; Leningrad, Academy of Science of the USSR Press, 1947. 272 p.
 26. Kronberg P. *Distantsionnoe izuchenie Zemli: Osnovy i metody distantsionnykh issledovaniy v geologii* [Remote study of the Earth: Framework and methods for Remote studies in Geology]. Moscow, Mir Publ., 1988. 349 p.
 27. Zverev A.T., Gavrilova V.V. Development of Theory and Methods for assessing and forecasting the conditions of natural resources with using satellite images. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka*, 2012, no. 5, pp. 44–47. In Rus.
 28. Sladkoptevsev S.A. *Dostizheniya i problemy geomorfologii, kartografii, geoekologii i prikladnoy kosmonavtiki* [Achievements and problems of Geomorphology, Cartography, Geoecology and Applied cosmonautics]. Moscow, MIIGAIK Publ., 2013. 199 p.
 29. Barboux Ch., Strozzi T., Delaloye R., Wegmüller U., Collet C. Mapping slope movements in Alpine environments using TerraSAR-X interferometric methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, November 2015, vol. 109, pp. 178–192.
 30. Vereshchaka T.V., Kachaev G.A. Topograficheskie karty v sisteme ekodiagnostiki territorii: otsenka informativnosti prirodnykh obektov [Topographic maps in the System of ecodiagnostic territory: estimation of the informative value of Natural objects]. *Geodeziya i kartografiya*, 2011, no. 10, pp. 14–19.
 31. Ataev Z.V., Bratkov V.V. Dynamics of residential development of the Landscape of emerging Makhachkala-Caspian agglomeration (based on remote sensing data). *Monitoring. Science and technology*, 2013, no. 4, pp. 11–16. In Rus.
 32. Balguez T.R., Bratkov V.V. Evaluation of intra-annual variability of the Territory of the Tyuleni island (by remote sensing materials). *Monitoring. Science and technology*, 2015, no. 1, pp. 44–51. In Rus.
 33. Bratkov V.V., Zaurbekov Sh.Sh., Klyushin P.V., Marin A.N. Distantsionnoe zondirovanie territorii Severnogo Kavkaza [Remote sensing of the Territory of the North Caucasus]. *Zemleustroystvo, kadastr i monitoring zemel*, 2011, no. 4 (76), pp. 69–80.
 34. García-Llamas Paula, Calvo Leonor, Álvarez-Martínez José Manuel, Suárez-Seoane Susana. Using remote sensing products to classify landscape. A multi-spatial resolution approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, August 2016, vol. 50, pp. 95–105.
 35. Marcantonio Matteo, Pareeth Sajid, Rocchini Duccio, Metz Markus, Garzon-Lopez Carol X., Neteler Markus. The integration of Artificial Night-Time Lights in landscape ecology: a remote sensing approach. *Ecological Complexity*, June 2015, vol. 22, pp. 109–120.
 36. Martínez del Castillo Edurne, García-Martín Alberto, Aladrén Luis Alberto Longares, Luis Martín. Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in Moncayo Natural Park (Spain). *Applied Geography*, August 2015, vol. 62, pp. 247–255.
 37. Knizhnikov Yu.F., Kravtsova V.I. Tematicheskoe deshifirovanie mnogozonalnykh kosmicheskikh snimkov [Thematic decoding of multispectral satellite images]. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics Earth Observation and Remote Sensing*, 1980, no. 1, pp. 88–94.
 38. Kronberg P. Zur geologischen auswertung von luftbildern [For the purposes of geological interpretation of aerial images]. *Photogrammetria*, December 1969, vol. 25, Iss. 2–3, pp. 75–85.
 39. Bartalev S.A., Ershov D.V., Isaev A.S., Lupyán E.A. Osnovnye zadachi i perspektivy sozdaniya sistemy globalnogo sputnikovogo monitoringa lesov [Main tasks and prospects of creation of the system of global satellite monitoring of forests]. *Contemporary Problems of Ecology Russian Forest Sciences*, 2011, no. 6, pp. 3–15.
 40. Bartalev S.A., Lupyán E.A. Research and development of ISR RAS on development of methods for satellite monitoring of vegetation cover. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2013, vol. 10, no. 1, pp. 197–214. In Rus.
 41. Rahman Naima, Ansary Mehedi A., Islam Ishrat. GIS based mapping of vulnerability to earthquake and fire hazard in Dhaka city,

- Bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, September 2015, vol. 13, pp. 291–300.
42. El Baroudy A.A. Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *CATENA*, May 2016, vol. 140, pp. 96–104.
 43. Brovko P.F., Malyugin A.V., Terentev N.S., Khrumushin V.N. Geomorfologicheskii monitoring lagunnykh beregov Sakhalina [Geomorphological monitoring of lagoon coast of Sakhalin]. *Morskoye i morskoe nauki: izbrannyye doklady 4 Sakhalinskoy regionalnoy morskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Seafaring & Marine science: selected papers of the 4th Sakhalin regional Marine scientific and technical Conference]. Yuzhno-Sakhalinsk, Sakhalinskaya oblastnaya tipografiya, 2013. pp. 133–142.
 44. Grannik V.M., Rybin A.V., Piskunov B.N., Chibisova M.V. Vulkanologicheskoye issledovaniya na Kurilskikh ostrovakh: itogi i perspektivy [Volcanological research in the Kuril Islands: results and prospects]. *Vestnik Dalnevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*, 2011, no. 6 (160), pp. 13–18.
 45. Rybin A.V., Chibisova M.V., Koroteev I.G. Problemy monitoringa vulkanicheskoy aktivnosti na Kurilskikh ostrovakh [Problems of Monitoring volcanic activity in the Kuril Islands]. *Vestnik Dalnevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*, 2010, no. 3, pp. 64–71.
 46. Gordeev E.I., Girina O.A. Volcanoes and their hazard to aviation. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2014, vol. 84, no. 2, pp. 134–142. In Rus.
 47. Kirianov V.Yu. Volcanic Ash in Kamchatka as a Source of Potential Hazard to Air Traffic. *Volcanic Ash and Aviation Safety: Proc. First Intern. Symp. on Volcanic Ash and Aviation safety. US Geological Survey Bull.*, 1992, vol. 2047, pp. 57–63.
 48. Girina O.A., Gordeev E.I. Proekt KVERT – snizhenie vulkanicheskoy opasnosti dlya aviatsii pri eksplozivnykh izverzheniyakh vulkanov Kamchatki i Severnykh Kuril [The KVERT project is the reduction of volcanic hazard for aircraft during explosive eruptions of Kamchatka and North Kuriles]. *Vestnik Dalnevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk*, 2007, no. 2, pp. 100–109.
 49. Kirianov V.Yu., Neal Ch.A., Gordeev E., Miller T.P., Hendley J.W. II, Stauffer P. *The Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team (KVERT) Fact Sheet 064–02*. Available at: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/fs06402/> (accessed 11 March 2016).
 50. Aleksanin A.I., Kachur V.A., Orlova T.Yu., Pavlov A.N., Salyuk P.A. Organizatsiya issledovaniy po otsenke ekologicheskogo sostoyaniya morskikh akvatoriy sredstvami distantsionnogo zondirovaniya [Organization of studies to assess the ecological status of marine waters by remote sensing instruments]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2010, vol. 7, no. 3, pp. 131–138.
 51. Onlayn kamery na vulkanakh Kamchatki [Online camera on the volcanoes of Kamchatka]. *CamDV. Onlayn kamery i translyatsii na Dalnem Vostoke* [Online camera and broadcast in the far East]. Available at: <http://camdv.ru/city/12/> (accessed 11 March 2016).
 52. Nazemnyy kompleks priema, obrabotki, arkhivatsii i rasprostraneniya sputnikovoy informatsii Rosgidrometa [The ground complex for receiving, processing, archiving and distributing satellite data of Roshydromet]. *Sayt FGBU NITS «Planeta»*. Available at: <http://planet.rssi.ru/index31.html> (accessed 11 March 2016).
 53. *Sektor instrumentalnogo monitoringa sredy* [Sector of instrumental monitoring of environment]. *SakhNIRO*. Available at: http://www.sakhniro.ru/page/sector_environmental_monitoring/ (accessed 11 March 2016).
 54. Koshkarev A.V., Ryakhovskiy V.M., Serebryakov V.A. Infrastruktura raspredelennoy sredy khraneniya, poiska i preobrazovaniya prostranstvennykh dannykh [Infrastructure of the distributed environment for storage, retrieval and transformation of spatial data]. *Otkrytoe obrazovanie*, 2010, no. 5, pp. 61–72.
 55. Gorobtsov S.R., Podryadchikova E.D. Comparative analysis of modern Russian experience in geoportals solutions for the purposes of Municipal management. *Interesko Geo-Sibir*, 2014, vol. 3, no. 2, pp. 150–158. In Rus.
 56. Dubrovskiy A.V. Possibility of applying GIS analysis in monitoring and modeling spatial structures. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotosemka*, 2015, no. S5, pp. 236–242. In Rus.
 57. Copernicus: Sentinel-1 – The SAR Imaging Constellation for Land and Ocean Services. *Sharing Earth Observation Recourses*. Available at: <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/content/-/article/sentinel1> (accessed 11 March 2016).
 58. China Integrated Earth Observation System (2016–2025). *China GEO 2025 Expert Group*. Sept. 9, 2015. Available at: <http://tinyurl.com/z2814f9> (accessed 11 March 2016).
 59. Earth Observation Satellites. *Canadian Space Agency*. Available at: <http://www.asc-csa.gc.ca/eng/default.asp> (accessed 11 March 2016).
 60. Iannotta B. SPOT Image plans strategy of efficiency. *Space News*, 1999, vol. 10, no. 38, P. 16.
 61. Observing the Earth. *Space for Europe*. Available at: http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth (accessed 12 March 2016).
 62. Programme on Space Applications. *United Nations Office for Outer Space Affairs*. Available at: http://www.unoosa.org/pdf/publications/ST_SPACE_52_Rev1.pdf (accessed 12 March 2016).
 63. Sentinel 3A, 3B, 3C, 3D // Gunter's Space Page. Available at: http://space.skyrocket.de/doc_sdat/sentinel-3.htm (accessed 12 March 2016).
 64. The Suomi-NPP (National Polar-orbiting Partnership) // National Aeronautics and Space Administration. URL: <https://joint-mission.gsfc.nasa.gov/suomi.html> (accessed 12 March 2016).
 65. Mohamed A.E. Abdel Rahman, Natarajan A., Srinivasamurthy C.A., Rajendra Hegde. Estimating soil fertility status in physically degraded land using GIS and remote sensing techniques in Chamarajanagar district, Karnataka, India. *Egypt. J. Remote Sensing Space Sci.*, 2016, no. 2. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.12.002> (accessed 12 March 2016).
 66. Lillesand T., Kiefer R.W., Chipman J. *Remote sensing and image interpretation*. Seventh Edition. New York, John Wiley & Sons, 2015. 768 p.
 67. Verrelst J., Rivera J.P., Veroustraete F., Muñoz-Mari J., Clevers J.G., Camps-Valls G., Moreno J. Experimental Sentinel-2 LAI estimation using parametric, non-parametric and physical retrieval methods – a comparison. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2015, vol. 108, pp. 260–272.
 68. Whitcraft A.K., Becker-Reshef I., Justice C. O. A framework for defining spatially explicit Earth Observation requirements for a global agricultural monitoring initiative (GEOGLAM). *Remote Sensing*, 2015, vol. 7, no. 2, pp. 1461–1481.
 69. Kumar S., Radhakrishnan N., Mathew S. Land use change modeling using a Markov model and remote sensing. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2014, vol. 5, no. 2, pp. 145–156.
 70. Iacono M., Levinson D., El-Geneidy A., Wasfi R. A Markov Chain Model of Land Use Change. *TeMA Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 263–276.

Received: 6 April 2016.

Information about the authors

Aleksey A. Verkhoturov, Senior lecturer, Sakhalin State University.

Vyacheslav A. Melkiy, Dr. Sc., head of the department, director of Oil and Gas Technical Institute, Sakhalin State University.