

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ (ДЗЗ)

Сидняев Н.И., Казанцева Е.С.

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
Москва, Россия

Sidn_ni@mail.ru, kazan_ls@mail.ru

Аннотация. В работе даны теоретические аспекты, связанные с дистанционным зондированием, рассмотрены оценки экономических выгод от использования данных ДЗЗ. Отмечено, что изучение Земли из космоса относят к высоким технологиям, которые используются в научных и практических целях. Представлены программные разработки для внедрения нейронных сетей в развитие методов ДЗЗ, а также для адаптации уже существующих решений и задач.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, излучение, поверхность, космос, дешифрование, методы зондирования, сейсмические разрезы.

Введение

Дистанционное зондирование Земли в настоящее время является наиболее интенсивно развивающимся способом получения актуальных и объективных данных о процессах и явлениях, происходящих в различных геосферах Земли. В свою очередь, дешифрирование данных ДЗЗ становится одним из важнейших методов для большинства наук о Земле. Еще несколько лет назад космические снимки использовались лишь узким кругом специалистов. Сейчас современные технические средства позволяют принимать изображения с искусственных спутников Земли на персональный компьютер, а новейшие программные средства дают возможность быстро обрабатывать эту информацию, вести ее электронные архивы, что делает ее доступной для самого широкого круга пользователей. Дистанционное зондирование охватывает целый ряд направлений науки, техники и технологий, развивавшихся на протяжении более сотни лет. Это с неизбежностью породило многообразие используемых терминов, обсуждением которых уместно предварить содержательную часть.

Сегодня разработанные предприятиями Роскосмоса технологии и методики использования данных ДЗЗ позволяют предложить уникальные решения для обеспечения безопасности, повышения эффективности разведки и добычи природных ресурсов, внедрения новейших практик в сельское хозяйство, предупреждения чрезвычайных ситуаций и устранения их последствий, охраны окружающей среды и контроля над изменением климата.

Одна из основных проблем при использовании информации, содержащейся в снимках, это изменение масштаба изображения в пределах каждого снимка в результате искажений, источники которых многообразны: фокусное расстояние оптической системы, геометрия проекции и охват территории, рельеф поверхности. На сегодняшний день некоторые из искажений устраняют в центрах получения обработки данных ДЗ перед их распространением. Дистанционное зондирование Земли даёт много возможностей для проведения аналитики. Например, такие компании, как Orbital Insight, Spaceknow, Remote Sensing Metrics, OmniEarth и DataKind, на основе съёмки со спутников выполняют мониторинг производства и потребления в США, анализ урбанизации, трафика, растительности, экономики и т.д. При этом сами снимки становятся всё более доступными. Например, снимки со спутников Landsat-8 и Sentinel-2 с пространственным разрешением больше 10м находятся в открытом доступе и постоянно обновляются.

В России компании Совзонд, СканЭкс, Ракурс, Гео-Альянс и Северная Географическая Компания также проводят геоаналитику по спутниковым снимкам и являются официальными дистрибьюторами компаний-операторов спутников ДЗЗ: ОАО «Российские космические системы» (Россия), DigitalGlobe (США), Planet (США), Airbus Defence and Space (Франция-Германия) и др.

Целью работы является краткое систематическое изложение методов ДЗЗ и его вклад в экономику.

Для достижения цели были рассмотрены сущность и задачи мониторинга объектов земной поверхности, оценены современные системы дистанционного зондирования, проанализированы возможности применения аэрокосмических средств и методов получения информации в целях мониторинга объектов Земной поверхности.

1. Методы дистанционного зондирования Земли и его экономический эффект

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) – получение информации о поверхности Земли и объектах на ней, атмосфере, океане, верхнем слое земной коры бесконтактными методами, при которых регистрирующий прибор удален от объекта исследований на значительное расстояние. Общей физической основой дистанционного зондирования является функциональная зависимость между зарегистрированными параметрами собственного или отраженного излучения объекта и его биогеофизическими характеристиками, и пространственным положением. Суть метода заключается в интерпретации результатов измерения электромагнитного излучения, которое отражается либо излучается объектом и регистрируется в некоторой удаленной от него точке пространства.

С помощью дистанционного зондирования изучают физические и химические свойства объектов. Примерами естественных форм ДЗ являются зрение, обоняние и слух человека. К методам дистанционного зондирования относят и фотографическую съемку, существенным ограничением которой является то, что эмульсионный слой фотопленки чувствителен только к излучению в видимой либо близкой к ней части электромагнитного спектра.

В современном облике дистанционного зондирования выделяются два взаимосвязанных направления – естественно-научное (дистанционные исследования) и инженерно-техническое (дистанционные методы), что нашло отражение в широко распространенных англоязычных терминах *remote sensing* и *remote sensing techniques*. Понимание сущности дистанционного зондирования неоднозначно [1-3]. В качестве предмета дистанционного зондирования как научной дисциплины рассматриваются пространственно-временные свойства и отношения природных и социально-экономических объектов, проявляющиеся прямо или косвенно в собственном или отраженном излучении, дистанционно регистрируемом из космоса или с воздуха в виде двумерного изображения – снимка. Эта существенная часть дистанционного зондирования названа аэрокосмическим зондированием (АКЗ), что подчеркивает его преемственность с традиционными аэрометодами. Метод аэрокосмического зондирования основан на использовании снимков, которые, как свидетельствует практика, представляют наибольшие возможности для комплексного изучения земной поверхности.

Методы ДЗ основаны на использовании сенсоров, которые размещаются на космических аппаратах и регистрируют электромагнитное излучение в форматах, существенно более приспособленных для цифровой обработки, и в существенно более широком диапазоне электромагнитного спектра. В большинстве методов ДЗ используют инфракрасный диапазон отраженного излучения, тепловой инфракрасный и радиодиапазон электромагнитного спектра.

Во всех странах действенным стимулом развития аэрокосмического зондирования служат запросы военных ведомств. С внедрением космических методов и современных цифровых технологий аэрокосмическое зондирование приобретает все более важное экономическое значение и становится обязательным элементом высшего образования в природоведческих вузах, превращается в мощное средство изучения Земли от локальных исследований отдельных компонентов до глобального изучения планеты в целом. Поэтому при изложении различных аспектов аэрокосмического зондирования целесообразно рассматривать его как метод исследований, результативно применяемый во всех науках о Земле, и, прежде всего в географии [4-9].

На рисунке 1 изображена упрощенная структурная схема системы ДЗ. Система состоит из нескольких взаимосвязанных элементов, или блоков.

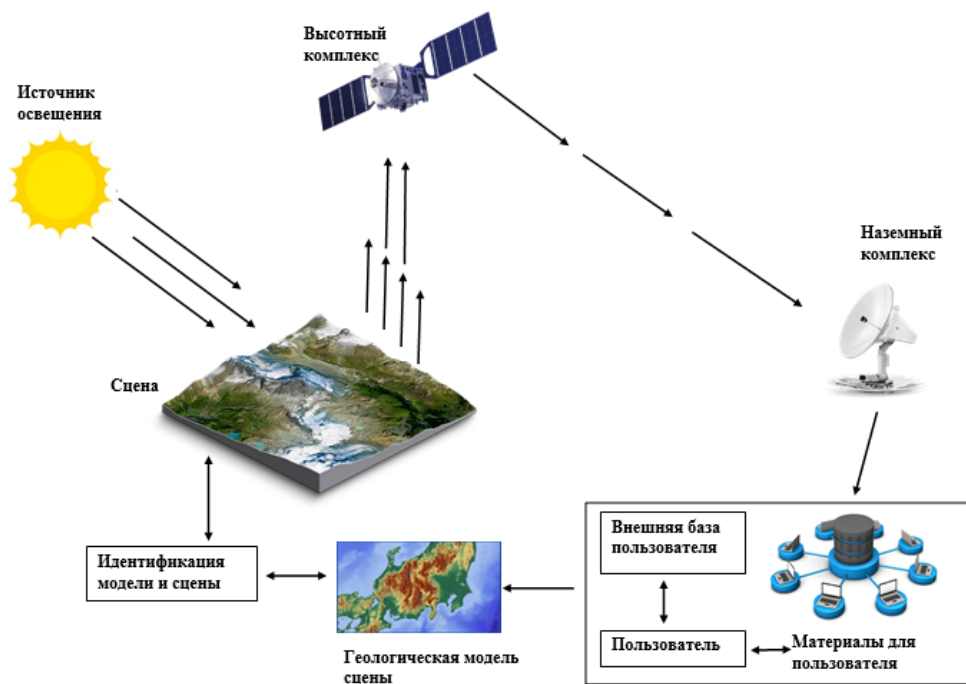


Рис. 1. Структурная схема системы дистанционного зондирования

Сцена – это то, что находится перед датчиком; построение геологической модели сцены является в самом общем виде той целью, ради которой создается система [10-15]. Изучение сцены на расстоянии возможно благодаря тому, что она обнаруживает себя в физических полях, которые могут быть измерены. Наиболее часто используются излученные или отраженные электромагнитные волны, в последнем случае необходим источник освещения, пассивный (например, Солнце) или активный (лазеры, радиолокаторы и др.). Физические поля измеряются датчиками, входящими в состав высотного комплекса, который кроме измерений служит для первичной обработки и передачи данных на Землю. Данные, закодированные в электромагнитном сигнале или записанные на твердотельные носители (фотопленки, магнитные ленты и пр.), доставляются в наземный комплекс, в котором происходит их прием, обработка, регистрация и хранение. После обработки данные обычно переписываются в кадровую форму и выдаются в качестве материалов дистанционного зондирования, которые по традиции называются космическими снимками [16-21]. Пользователь, опираясь на внешнюю базу знаний, а также собственный опыт, интуицию, проводит анализ и интерпретацию материалов ДЗ и создает геологическую модель сцены, которая и является формой регистрации решения поставленной проблемы с точки зрения экономической эффективности. Достоверность модели проверяется сопоставлением, или идентификацией модели и сцены; идентификация замыкает систему и делает ее пригодной для прикладного пользования.

2. Технологии использования данных дистанционного зондирования в экономике России

Широкое применение данных космической съемки, которое началось с запуска спутника Landsat 1 в 1972 году, открыло новые перспективы для мониторинга состояния природных ресурсов и их использования. В результате развития методов дистанционного зондирования существенно упростился процесс картографирования земельных и водных ресурсов, почв, лесов, сельскохозяйственных посевов и городской инфраструктуры, оценки урожая и многое другое. Космические снимки используют для эффективного принятия решений с помощью географических информационных систем [22-27].

При этом для дешифрирования объектов применяют как визуальные, так и численные методы анализа снимков.

Для лучшего представления технологии применения данных ДЗ, ниже приводятся примеры их использования в различных областях:

1. Землепользование и картографирование земельных ресурсов.
2. Исследования роста городов.

3. Сельское хозяйство.
4. Картографирование грунтовых вод.
5. Борьба с наводнениями.
6. Гидроморфологические исследования.
7. Картографирование пустыющих земель.
8. Региональное планирование.
9. Борьба с природными катастрофами.

Земля является важнейшим природным ресурсом, составляющим основу экономического развития общества. Успех любого планирования в этой области зависит от наличия подробной и точной информации как о самих земельных ресурсах, так и об их использовании. Работы по составлению соответствующих карт должны вестись систематически и быть хорошо структурированы, для чего необходимо, прежде всего, определить классы земельных ресурсов [28].

Актуальность разработки методики оценки экономических выгод от использования данных ДЗЗ из космоса для развития Российской Федерации объясняется тем, что в настоящее время в области космической деятельности происходит разворот от бюджетного финансирования к все более широкому обеспечению коммерческой эффективности космической деятельности, получению экономических выгод от нее. Данное положение закреплено в федеральном законе «О государственной корпорации по космической деятельности «Роскосмос».

Целью решения задачи оценки экономических выгод от использования ДЗЗ является оценка в стоимостном выражении эффектов, получаемых в отраслях экономики, различных сферах применения (транспорт, строительство, растениеводство и др.).

Сегодня в мировой практике космические аппараты могут стоить €250 млн и выше, а это больше \$20 млрд». Чтобы обеспечить покрытие на такие крупные суммы, страховые компании используют собственные финансовые возможности, а также ресурсы зарубежных банков, привлекают партнеров-перестраховщиков по всему миру. Емкости российского рынка для этого не всегда достаточно.

Методика позволяет определить суммарную экономическую выгоду по видам экономических эффектов использования ДЗЗ (увеличения объемов производимой продукции, повышения доходов, производительности, прибыли, экономии, снижения ущерба, затрат, потерь, возврата налогов и т. д.) и сферам применения. При этом под экономической выгодой от использования ДЗЗ понимается приращение валового внутреннего продукта (ВВП) страны, возникающее за счет эффектов от использования ДЗЗ в различных отраслях экономики России: продаж, оцененных в денежном выражении, а также снижения ущерба в различных сферах, экономии за счет закупки отечественных ДЗЗ вместо зарубежных и налоговых поступлений в бюджет Российской Федерации. На глобальном рынке космического страхования всего несколько десятков крупных игроков. Стоит им получить убытки — а это происходит постоянно, — и ставки начинают расти. Причем рост касается всех сегментов космической отрасли. И получив убытки от гибели спутника, крупные игроки поднимают премии по всем видам космической индустрии. В том числе и в космическом страховании и перестраховании спутников для использования ДЭЗ, хотя в России не возникало никаких дополнительных рисков.

Исходными данными для проведения оценок по данной методике являются:

1. Исходные данные по пользовательским характеристикам ДЗЗ (пространственное разрешение, ширина полосы обзора, спектральные диапазоны, радиометрическое разрешение, полоса захвата, периодичность наблюдения), поступающим от орбитальной группировки космических аппаратов (ОГ КА);
2. Требования федеральных органов исполнительной власти Российской Федерации и других потребителей к ДЗЗ, определяющие пригодность их использования в различных сферах применения (отраслях экономики);
3. Исходные данные по объемам областей экономики, в которых используются ДЗЗ (транспорт, строительство, растениеводство и др.);
4. Исходные данные по уровням, внедрению и потенциальной востребованности (актуальности применения) экономических эффектов использования ДЗЗ в различных сферах применения.

Данные статистики об объемах бюджетообразующих отраслей экономики Российской Федерации основываются на данных Росстата России, публикуемых в соответствующих ежегодных отчетах [15-25].

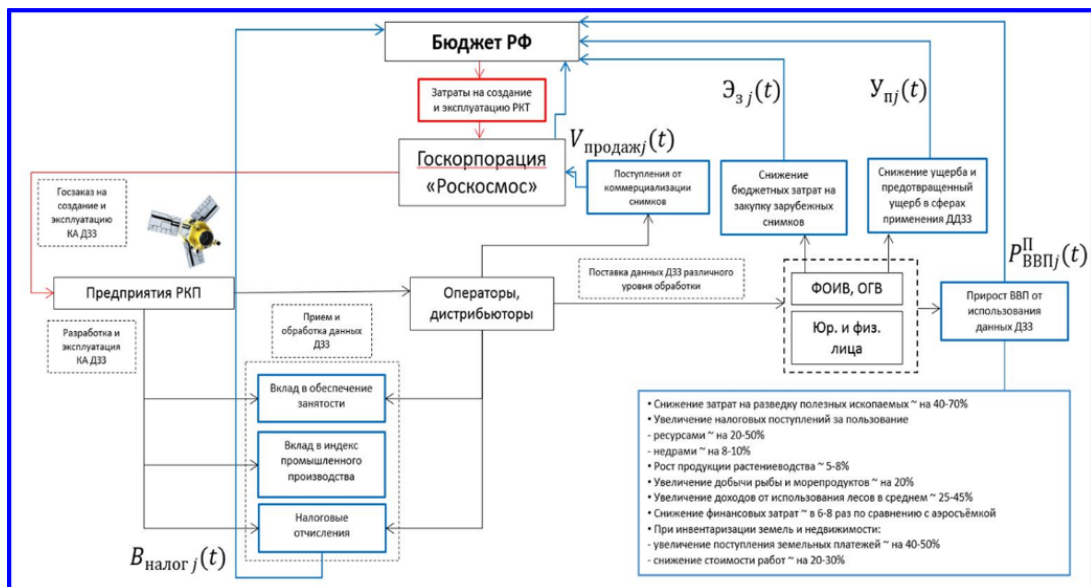


Рис. 2. Схема извлечения экономических выгод от использования ДЗЗ для развития Российской Федерации

Схема извлечения экономических выгод от использования ДЗЗ для развития Российской Федерации представлена на рис. 2 [10-15].

Оценка экономических выгод от использования ДЗЗ ведется от выявления исходных данных по характеристикам ДЗЗ, поступающих от ОГ КА, сопоставления их с требованиями к ДЗЗ, определяющими пригодность использования ДЗЗ в различных сферах применения, систематизации исходных данных по объемам областей экономики, в которых используются ДЗЗ, уровням и применимости экономических эффектов использования ДЗЗ, на основе которых предоставляются космические продукты и услуги в различных сферах применения. При этом установлено, что наибольшие по объему экономики дополнительные доходы возникают не от денежной выручки прямых продаж космической информации, КА или пусков РН, а от эффектов получения экономической выгоды использования ДЗЗ в отраслях экономики страны. Поэтому в основу рассматриваемой методики положен методический подход, основанный на применении эффектов, получаемых от использования космической информации в различных отраслях экономики.

Метод, используемый для решения рассматриваемой задачи, должен включать главные факторы, влияющие на требуемую оценку, и выстраивать их роль и место в методологической конструкции корректно и взаимосвязано. В конечном счете это и определяет полноту и достоверность оценки.

3. Заключение

Дистанционное зондирование - это измерения объектов и явлений на расстоянии без контакта с ними. Для этого используются космические и летательные аппараты, суда и наземные станции. Снимки являются наиболее удобной и популярной формой измерения и представления информации о географии объекта. Космические снимки широко используются в научных и практических целях, включая изучение ресурсов земли, динамики природных явлений и охраны окружающей среды. Они также помогают в картографии и предоставляют источник информации. Дистанционные методы изучения природных объектов обеспечивают большую наглядность.

Таким образом, изучения Земли из космоса относят к высоким технологиям не только в связи с использованием ракетной техники, сложных оптико-электронных приборов, компьютеров, но и с новым подходом к получению интерпретации результатов измерений.

Современный этап развития методов и технологий обработки и анализа данных ДЗЗ (в том числе космической съемки) характеризуется выраженным трендом на автоматизацию. За последние годы было разработано множество новых методов автоматизированного анализа изображений. Наиболее перспективными из них являются статистические алгоритмы, основанные на искусственном интеллекте (моделях машинного обучения). Появление таких алгоритмов в совокупности с ростом пространственного и временного разрешения данных ДЗЗ позволяет решать на их основе принципиально новые задачи как научного, так и практического характера с позиций экономической эффективности.

Литература

1. *Kazantseva E. S., Sidnyaev N. I., Butenko Yu. I.* Mathematical methods of pattern recognition of written and unwritten characters using the similarity measure evaluation/ Modeling in Engineering 2020; AIP Conf. Proc. 2383, 030013-1–030013-7; <https://doi.org/10.1063/5.0074673> Published by AIP Publishing. 978-0-7354-4191-0/\$30.00.
2. *Казанцева Е.С., Сидняев Н.И., Бутенко Ю.И.* Об Самонастраивающиеся системы для автоматического контроля оптимальных параметров/Международная научная Конференции «Фундаментальные и прикладные задачи механики» (Москва, 16-19 ноября 2021 г.): Тезисы докладов/ П.М. Шкапов, М.Ю. Баркин, Е.В. Мелкумова, составители. Инженерный журнал: наука и инновации, 2021.
3. *Казанцева Е.С., Сидняев Н.И.*, Критерий Манна-Уитни при проверке гипотезы об однородности опытного материала / Материалы Международной научной конференции FARM 2022 «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
4. *Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В.* Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016, 208 с.
5. *Березина О.А., Шихов А.Н., Абдуллин Р.К.* Применение многолетних рядов данных космической съёмки для оценки экологической ситуации в угледобывающих районах (на примере ликвидированного Кизеловского угольного бассейна) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018 Т. 15 №2. С. 144–158.
6. *Гаврилюк Е.А., Еришов Д.В.* Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat-TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012, Т9. №4. с. 15–23.
7. Дешифрирование многозональных аэрокосмических снимков: Сканирующая система «Фрагмент». Методика и результаты. –М.: Наука; Берлин: Академи-ферлаг. 1988, 124 с.
8. *Девятова Н.В., Еришов Д.В., Лямцев Н.И., Денисов Б.С.* Определение масштабов усыхания хвойных лесов Европейского севера России по данным спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007 Т. 4 № 2 С. 204–211.
9. *Дубинин М.Ю.* NDVI - теория и практика. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения – 13.05.2019).
10. *Лабутина И.А.* Дешифрирование аэрокосмических снимков: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Аспект-Пресс, 2004. 184 с.
11. Изображения Земли из Космоса: примеры применения. Научно-популярное издание. М., Инженерно-технологический центр «СканЭкс», 2005 100 с.
12. *Кравцова В.И.* Космические методы исследования почв. М., Аспект Пресс, 2005 199 с.
13. *Бухарицин А.П.* Проблемы оценки эффективности технологий дистанционного зондирования земли из космоса//Фундаментальные исследования. – 2021. – № 9. – С. 12-20; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=43087> (дата обращения: 05.06.2023).
14. *Савиных В.В., Цветков В.Я.* Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 2001 228 с.
15. *Токарева О.С.* Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010 148 с.
16. *Шовенгердт Р.А.* Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010, 560 с.
17. *Казанцева Е.С., Сиднев Н.И., Бутенко Ю.И.* Самонастраивающиеся системы для автоматического контроля оптимальных параметров/Международная научная конференция «Фундаментальные и прикладные задачи механики», Москва, 7–10 декабря 2021 г. Материалы конференции. В двух частях. Часть 1. П.М. Шкапов, М.И. Дьяченко, сост. Инженерный журнал: наука и инновации, 2022, вып. 5. С.129-139. <http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2022-5-2182>
18. *Крылов А.М., Владимирова Н.А.* Дистанционный мониторинг состояния лесов по данным космической съёмки // Геоматика. 2011 № 3 С. 53 – 58
19. *Казанцева Е.С., Сидняев Н.И.* Метод обеспечения требуемых показателей оценки надежности наукоемких технологий/ Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (Москва, 19 апреля 2023 г.) /Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана. – М.: Первое экономическое издательство, 2023. С. 152-161.DOI: 10.18334/9785912924668
20. *Казанцева Е.С., Сидняев Н.И.* Влияние режимов работы высокотехнологичной продукции на вид и показатели закона надежности системных компонент/Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: новые источники роста : V Всероссийская научно-практическая конференция (Москва, 20 апреля 2022 г.) : материалы конференции /Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (национальный исследовательский университет). —М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022 — С.379-245.
21. *Казанцева Е.С., Сидняев Н.И., Бутенко Ю.И.* Оптимальные и адаптивные самонастраивающиеся системы в динамических структурах управления/Физические основы приборостроения. 2022. Т. 11 №1 (43). С.48-63.

22. *Ковалевский В.В.* Повышение эффективности направленного приема сигналов при вибросейсмическом мониторинге. Новосибирск, 2016. 24 с.
23. *Elizaveta S. Kazanceva, Nikolay I. Sidnyaev, Nadezhda V. Opletina, Yulia I. Butenko*/ Probably-Statistical Method for Written Signs Recognition Using the Measure of Proximity 07005 .Published online: 09 December 2020DOI: <https://doi.org/10.1051/itmconf/20203507005><https://www.itmconferences.org/articles/itmconf/abs/2020/05/contents/contents.html>
24. *Поздняков В.А.* Объектно-ориентированная технология построения сейсмических изображений среды. Новосибирск, 2005. 35 с.
25. *Казанцева Е.С., Сидняев Н.И.* Статистический метод анализа ранжировок обработки информации при ДЗЗ/ Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования земли: Материалы X международной научно-технической конференции (Москва, 2022г.), Акционерное общество «Научно производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» им. А.Г.Иосифьяна»
26. *Baumann M., Ozdogan M., Wolter P.T., Krylov A.M., Vladimirova N.A., Radeloff V.C.* Landsat remote sensing of forest windfall disturbance // Remote Sensing of Environment, 2014 Vol. 143, PP. 171–179.
27. *Krylov A., Potapov P., Loboda T., Tyukavina A., Turubanova S., Hansen M.C., McCarty J.L.* Remote sensing estimates of stand-replacement fires in Russia, 2002–2011 // Environmental Research Letters. 2014.Vol. 9 (10). Article number 105007
28. *Makarieva O.M., Shikhov A.N., Ostashov A.A., Nesterova N.V.* (2019) Historical and recent aufeis in the Indigirka River basin (Russia). Earth System Science Data, Vol. 11(1), PP. 409–420.