

На правах рукописи

Абдуллин Ринат Камилевич



Региональная атласная информационная система
опасных гидрометеорологических явлений
(на примере Уральского Прикамья)

25.00.33 – Картография

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Новосибирск – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет» (ПГНИУ).

Научный руководитель – доктор географических наук, доцент
Пьянков Сергей Васильевич.

Официальные оппоненты:

Бешенцев Андрей Николаевич, доктор географических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, заведующий лабораторией геоинформационных систем;

Николаева Ольга Николаевна, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий», доцент кафедры экологии и природопользования.

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет» (г. Иркутск).

Защита состоится 15 июня 2017 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.251.04 при ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий» по адресу: 630108, Новосибирск, ул. Плахотного, д. 10, ауд. 402.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет геосистем и технологий»: <http://sgugit.ru/science-and-innovations/dissertation-councils/dissertations/abdullin-rinat-kamilevich/>

Автореферат разослан 21 апреля 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Дубровский А. В.

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.
Подписано в печать 10.04.2017. Формат 60 × 84 1/16.
Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ 42.
Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.
Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На фоне глобального и регионального изменения климата необходимость и важность исследования пространственно-временного распределения опасных гидрометеорологических явлений (ОГМЯ) не вызывает сомнений. ОГМЯ оказывают неблагоприятное воздействие на различные сферы жизнедеятельности человека и являются причиной социального, экологического и экономического ущерба.

Важную роль в изучении пространственно-временного распределения ОГМЯ играет картографический метод. Картографирование характеристик опасных явлений позволяет выделять и в наглядной форме отображать области наибольшей частоты и интенсивности их проявления. Таким образом, карты являются важным инструментом оценки территориального риска возникновения ОГМЯ и связанных с ними чрезвычайных ситуаций (ЧС). Большинство картографических материалов, посвященных пространственно-временному распределению опасных явлений, создано на глобальном, макрорегиональном и национальном уровнях. На региональном уровне таких работ известно мало, что в основном связано с дефицитом исходной информации о случаях ОГМЯ. Методические аспекты картографирования ОГМЯ на региональном уровне также разработаны недостаточно.

При комплексном изучении ОГМЯ особое место принадлежит атласному картографированию. Большинство изданных атласов посвящены анализу рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, вызываемых опасными природными явлениями. Среди них известны атласы глобального (Shi, Kasperson, 2015 г.), национального (Шойгу, 2005; 2007; 2008; 2009 гг.) и регионального уровней (Разумов, 2005 г.; Томскгеомониторинг, 2008 г; Русское географическое общество Смоленское отделение, 2013 г.). Перечисленные атласы в основном изданы в традиционной печатной форме и в связи с этим встает вопрос их своевременного обновления. Одним из путей решения данной проблемы может послужить создание электронных атласов. Наиболее совершенным видом электронного

атласа являются атласные информационные системы (АИС), которые предоставляют возможности организации систематизированного хранения, обработки, распространения, оперативного обновления информации, а также включают инструменты построения новых карт, пространственного анализа и моделирования. Широкие функциональные возможности АИС позволяют использовать их для решения ряда научных и прикладных задач.

Необходимость интеграции, систематизации и регулярного обновления данных об опасных гидрометеорологических явлениях, а также организации их мониторинга и поддержки принятия управленческих решений по смягчению и нейтрализации их воздействия обуславливает актуальность разработки научно-методических и технологических принципов создания атласной информационной системы ОГМЯ, которые могут быть реализованы на различных пространственно-иерархических уровнях.

Степень разработанности темы. Вопросы оценки пространственно-временного распределения ОГМЯ, а также их негативного воздействия на различные сферы жизни общества рассматривались многими авторами: Бедрицким А. И., Осиповым В. И., Кобышевой Н. В., Панфутовой Ю. А. и др. Методические аспекты картографирования пространственно-временного распределения ОГМЯ на региональном уровне изучены недостаточно, большинство карт данной тематики создано на национальном уровне. Для территории России и ее отдельных частей такие карты представлены в атласах (Шойгу, 2005; 2007; 2008; 2009 гг.). Разработка и создание АИС – относительно молодое направление в области картографии и геоинформатики. Теоретические и практические аспекты разработки АИС различной тематики, освещены в работах Ormeling F., Тикунова В. С., Батуева А. Р., Бешенцева А. Н., Тимонина С. А. и др.

Цель и задачи исследования.

Цель исследования – разработка научно-обоснованных подходов к проектированию, созданию и информационному наполнению региональной АИС ОГМЯ (на примере Уральского Прикамья).

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

- рассмотреть и обобщить российский и зарубежный опыт картографирования опасных гидрометеорологических явлений на различных территориально-иерархических уровнях;
- выделить характерные методические и технологические особенности проектирования и создания АИС ОГМЯ регионального уровня;
- разработать научно-обоснованные алгоритмы картографирования пространственно-временного распределения ОГМЯ как событий редкой повторяемости и их последствий на региональном уровне;
- провести апробацию созданных алгоритмов картографирования средствами функциональных возможностей АИС ОГМЯ (на примере Уральского Прикамья).

Объектом исследования является атласная информационная система опасных гидрометеорологических явлений.

Предмет исследования – новые методические и технологические подходы при создании типовой региональной атласной информационной системы опасных гидрометеорологических явлений (на примере Уральского Прикамья).

Научная новизна работы. В результате проведенных исследований впервые:

- разработаны и апробированы новые методические решения для геоинформационного картографирования режимных характеристик ОГМЯ (повторяемости и интенсивности) на региональном уровне, позволяющие получить достоверную оценку их пространственно-временного распределения на основе исходных данных точечных наблюдений, с учетом физико-географических характеристик исследуемой территории, а также на основе многолетних рядов данных космической съемки;
- предложены и реализованы методика создания синтетических карт повторяемости климатических экстремумов, а также методики районирования территории по преобладающим видам опасных метеорологических явлений;

– реализован прототип региональной АИС ОГМЯ, обладающей характерной структурой и рядом функциональных особенностей, выделяющих ее среди иных информационных систем подобной направленности.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость исследования заключается в том, что его результаты представляют собой дальнейшее развитие теоретических и практических наработок в области проектирования и создания АИС, а также изучения пространственно-временного распределения опасных гидрометеорологических явлений на региональном уровне. Исследования выполнялись в рамках реализации ряда научных проектов, поддержанных Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ) и Министерством образования и науки Российской Федерации (РФ):

– Грант Министерства образования и науки РФ № 2012-4.В37.21.1891 «Разработка технологии оперативного мониторинга и прогноза затопления территории при образовании ледового затора»;

– Грант РФФИ № 14-05-96000-р-урал-а «Математико-картографическое моделирование и сверхкраткосрочный прогноз опасных гидрометеорологических явлений на территории Уральского Прикамья»;

– Грант РФФИ № 14-05-31220-мол-а «Оценка влияния растительных формаций на процессы формирования и таяния снежного покрова с применением данных дистанционного зондирования Земли»;

– Грант РФФИ № 16-05-00245-а «Современная климатология смерчей по данным дистанционного зондирования Земли (на примере лесной зоны Европейской части России)»;

– Грант РФФИ № 16-45-590056-р-а «Атласное веб-картографирование опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья».

Практическая значимость исследования заключается в том, что полученные автором результаты исследований нашли практическое применение при разработке Паспортов безопасности Осинского и Чайковского муниципальных районов Пермского края. Также материалы исследования использованы при

разработке курсов лекций и практических занятий в программах дисциплин «Геоинформационные системы», «Веб-картографирование», «Математико-картографическое моделирование» на кафедре картографии и геоинформатики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

Методология и методы исследования. Методология исследования базируется на базовых понятиях и методах картографии, геоинформационного картографирования. В диссертационной работе для решения поставленных задач использованы следующие *методы исследования*: картографический, геоинформационного картографирования, математико-картографического моделирования, статистические (корреляционный и регрессионный анализ, кластерный анализ), пространственно-временной анализ, экспертные оценки, дешифрирование данных дистанционного зондирования Земли (мультिवременной анализ данных).

Положения, выносимые на защиту:

– разработанная АИС ОГМЯ обеспечивает интеграцию, систематизацию и регулярное обновление пространственной и семантической информации об опасных явлениях, а также о климатическом и гидрологическом режиме территории;

– функциональные возможности АИС, включающие визуализацию данных, формирование запросов, пространственно-статистический анализ и моделирование, являются универсальными и могут быть реализованы для любой территории со сходными природными условиями;

– комплексирование различных источников данных, включая стационарные наблюдения, сведения об ущербе, данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а также учет зависимостей режимных характеристик ОГМЯ от свойств подстилающей поверхности позволяют получать достоверную оценку пространственно-временного распределения ОГМЯ на региональном уровне;

– предложенные алгоритмы районирования территории по преобладающим видам ОГМЯ и зонирования по повторяемости климатических экстремумов

обеспечивают получение достоверных результатов и могут быть использованы для комплексной оценки подверженности территории воздействию ОГМЯ.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Картографические материалы, полученные в результате диссертационного исследования, созданы на основе данных наблюдательной сети Росгидромета, а также тематических продуктов обработки данных ДЗЗ, прошедших проверку их разработчиками. Разработанные алгоритмы картографирования основаны на известных закономерностях пространственного распределения гидрометеорологических величин. Их валидация была проведена по данным космической съемки.

Результаты работы также используются Министерством природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края при оценке влияния ОГМЯ на лесные и водные ресурсы региона.

Основные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались и нашли положительные отклики на научно-практических конференциях различного уровня:

– на 6-й и 7-й Международных конференциях «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху "Больших данных"» в рамках XI и XII Международных научных конгрессов «Интерэкспо ГЕО-Сибирь» (г. Новосибирск, 2015, 2016 гг.);

– на XXII международной конференции ИнтерКарто/ИнтерГИС – «ГИС для устойчивого развития территорий» (г. Протвино, 2016 г.);

– на Всероссийской конференции «Международный год карт в России: объединяя пространство и время» (г. Москва, 2016 г.);

– на VI, VII, VIII, IX межрегиональных научно-практических конференциях «Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края» (г. Пермь, 2013, 2014, 2015, 2016 гг.).

Публикации по теме диссертации. Основные теоретические положения и результаты исследований представлены в 16 научных публикациях, в том числе семь статей опубликованы в журналах, входящих в перечень рецензи-

руемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученой степени кандидата наук.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех разделов, заключения, списка литературы из 171 наименования. Материал работы изложен на 179 страницах машинописного текста и включает в себя 7 таблиц, 29 рисунков, 9 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, изложены цели и задачи исследования, дана оценка их научной новизны и практической значимости, сформулированы защищаемые положения. Приведены сведения о работе и ее структуре.

В первом разделе представлен обзор современного состояния картографирования опасных природных явлений (ОЯ), включая гидрометеорологические. Рассмотрены как традиционные печатные картографические произведения, так и электронные, включая картографические веб-сервисы. Также предложена классификация карт опасных природных явлений по двум признакам: направлению картографирования в рамках тематики опасных природных явлений и по пространственному охвату территории, отображаемой на карте.

Во втором разделе рассмотрены особенности создания региональной АИС ОГМЯ на примере Уральского Прикамья. В частности, описаны ее информационная основа, структура картографической базы данных (КБД), аппаратно-программная структура и основные функциональные возможности.

Особенностью информационной основы региональной АИС ОГМЯ является содержание в ней большого массива тематической информации, полученной из разнородных источников. Информация представлена многолетними рядами наблюдений метеостанций и гидропостов; данными с метеорологических радиолокаторов; материалами, полученными от очевидцев событий; данными об ущербе, данными ДЗЗ различного пространственного разрешения.

Картографическая база данных АИС решает задачи систематизации, интеграции и хранения разнородной информации об ОГМЯ, а также информационного обеспечения геоинформационного картографирования на основе имеющихся данных. С учетом особенностей исследуемых явлений разработана и предложена типовая логическая структура картографической базы данных АИС ОГМЯ (рисунок 1), включающая в себя позиционные данные и широкий спектр непозиционной информации. Позиционная составляющая данных представлена базовым, тематическим и модельным блоками.



Рисунок 1 – Логическая структура картографической базы данных АИС «ОГМЯ Уральского Прикамья»

Базовый блок содержит данные, которые составляют географическую основу картографических материалов АИС. *Тематический блок* содержит векторные и растровые данные, сгруппированные в несколько тематических разделов: режимные многолетние климатические и гидрологические характеристики; режимные характеристики ОГМЯ и связанный с ними раздел синтетических карт подверженности территории воздействию ОГМЯ; информацию о возможных

негативных последствиях воздействия ОГМЯ, информацию об отдельных случаях ОГМЯ. Блок *модельных* данных, выделенный в составе тематического, представлен картами пространственно-временного распределения климатических и режимных характеристик ОЯ.

Для реализации базы данных АИС ОГМЯ используется открытая система управления базами данных (СУБД) PostgreSQL, имеющая инструменты работы с пространственной информацией. Интерфейс доступа к АИС ОГМЯ организован в виде картографического веб-сервиса. Аппаратно-программная структура АИС ОГМЯ Уральского Прикамья (рисунок 2) построена на основе архитектуры «клиент-сервер», типичной для обычных веб-приложений, но с добавлением компонентов геоинформационных систем (ГИС).

Особенности реализации функциональных возможностей АИС «ОГМЯ Уральского Прикамья» заключаются в следующем:

- учтена тематическая структура КБД;
- функционал АИС реализован в интерфейсе веб-приложения, которое доступно в сети Интернет по адресу <http://maps.psu.ru/ais/>;
- реализованы различные механизмы визуализации данных (карты и другие геоизображения, графики, диаграммы, таблицы), поиска и анализа данных (на основе формирования запросов, расчета статистической информации и выполнения оверлейных операций), также реализована идентификация объектов на картах (рисунок 3);
- созданы инструменты построения тематических карт, в том числе на основе авторских методических приемов и алгоритмов картографирования пространственно-временного распределения ОГМЯ на региональном уровне, описанных в разделе 3;
- организована интеграция АИС со сторонними базами данных, как российскими (на примере базы данных ОЯ погоды в Пермском крае), так и зарубежными (на примере Европейской базы данных ОЯ – European Severe Weather Database (ESWD)).

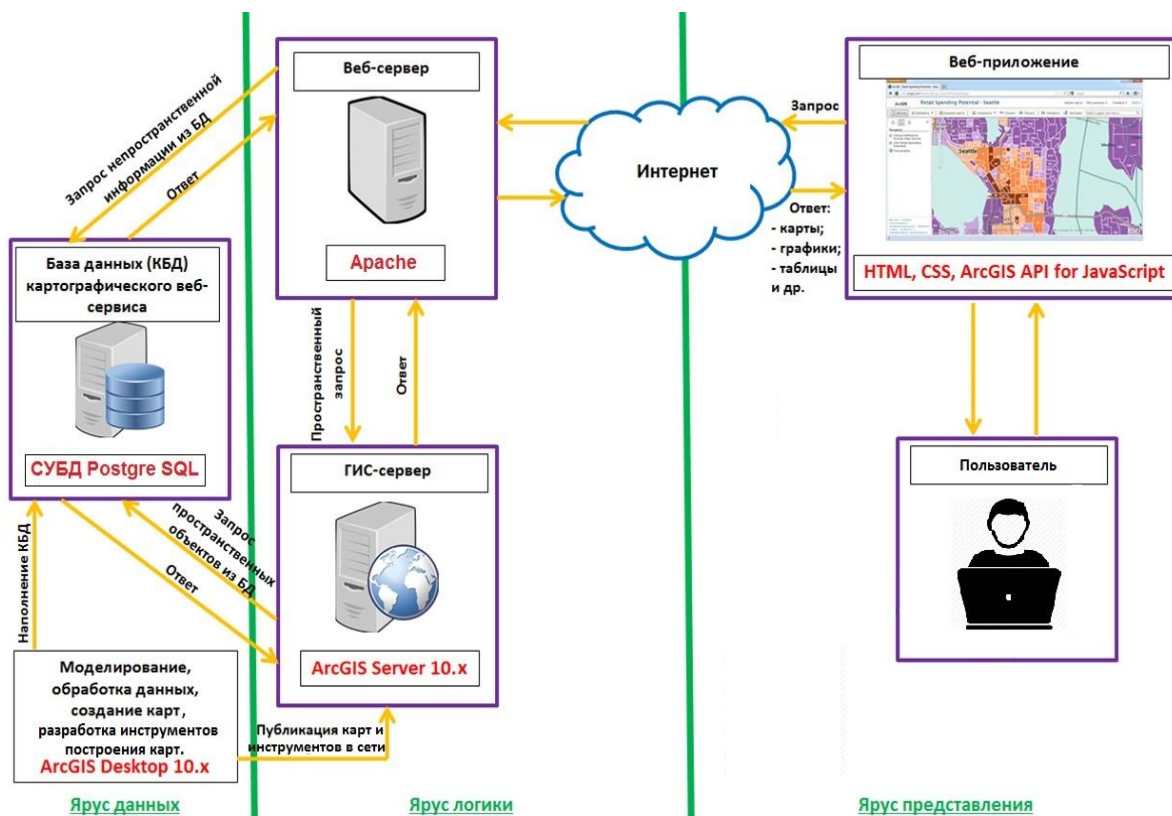


Рисунок 2 – Аппаратно-программная структура АИС «ОГМЯ Уральского Прикамья»

The screenshot shows the interface of the information system. On the left, there is a sidebar with navigation options and a statistics section for Dobryanskiy district, featuring a donut chart showing 29 cases of strong frost. The main area displays a topographic map with markers for various events. A table below the map lists the recorded events.

Тип	Дата	Продолжительность	Интенсивность
Сильный мороз	2017-02-09	2 сут	Минимальная температура: -38,8 °С
Сильный мороз	2017-02-08	2 сут	Минимальная температура: -35,8 °С
Сильный мороз	2017-01-21	2 сут	Минимальная температура: -37,5 °С
Сильный мороз	2017-01-20	2 сут	Минимальная температура: -38,5 °С
Очень сильный дождь	2016-10-06	12 ч	Количество осадков: 32 мм

Рисунок 3 – Просмотр информации о случаях опасных явлений в АИС

Таким образом, созданная АИС «ОГМЯ Уральского Прикамья» позволяет интегрировать и систематизировать имеющуюся информацию об ОГМЯ. Она может использоваться как типовое решение для любых регионов со сходными природно-климатическими условиями. Кроме того, региональная АИС ОГМЯ позволяет оценить территориальный риск возникновения опасных явлений, и поэтому она может стать одним из инструментов поддержки принятия решений в области управления рисками ЧС природного характера.

В третьем разделе рассматривается комплекс авторских методических приемов и алгоритмов картографирования пространственно-временного распределения ОГМЯ на региональном уровне, который направлен на решение проблем, вызванных дефицитом информации о зафиксированных случаях опасных явлений, неоднократным изменением их критериев и пропуском наблюдательной сетью локальных опасных явлений. На основе данных приемов и алгоритмов построены карты режимных характеристик ОЯ и синтетические карты, представленные в АИС.

В 3.1 описаны подходы к картографированию режимных характеристик ОЯ на основе данных точечных наблюдений. Пространственно-временное распределение ОГМЯ можно рассматривать как повторяемость (число случаев за период времени), а также как плотность (число случаев на единицу площади за период времени). Для явлений, характеризующихся значительным охватом территории (экстремальная температура воздуха, сильные осадки и др.), по данным сети метеостанций оценивается повторяемость, а также средняя и максимальная интенсивность. Для локальных явлений конвективного характера (шквалы, крупный град, смерчи) на мелких масштабах оценивается плотность пространственного распределения. В качестве исходной информации для таких карт используются данные наблюдательной сети, а также информация об ущербе, данные ДЗЗ и продукты их обработки.

При создании карт повторяемости и интенсивности ОГМЯ рассматривались такие опасные явления, как сильная жара, сильные морозы, сильные дож-

ди и сильные снегопады. В основе построения карт лежит интерполяция данных наблюдательной сети с учетом регрессионных зависимостей от свойств подстилающей поверхности. Для выявления зависимостей режимных характеристик ОЯ от факторов подстилающей поверхности использовался одномерный и множественный регрессионный анализ. В качестве независимых переменных для построения линейной регрессии были выбраны основные морфометрические характеристики: высота местности, угол наклона склонов и общая кривизна склонов, которые рассчитывались по цифровой модели рельефа с размером ячейки 1 000 м. При построении карт режимных характеристик сильных дождей и снегопадов использовались уравнения множественной регрессии с учетом двух независимых переменных – высоты и уклона местности. При построении карт сильных морозов и сильной жары использовалась одна независимая переменная – общая кривизна склонов и высота местности соответственно. Примеры полученных карт режимных характеристик опасных явлений приведены на рисунках 4, 5.

Плотность пространственного распределения оценивалась для локальных конвективных опасных явлений за 2001–2015 гг. Места наблюдений ОЯ были отмечены в виде точек, с указанием числа зафиксированных случаев явлений. Для расчета плотности полученных точечных объектов использовался алгоритм плотности ядер модуля Spatial Analyst программного пакета ArcGIS. При расчете плотности учитывалась зависимость числа зафиксированных опасных конвективных явлений от плотности сети наблюдений на исследуемой территории. Коэффициент линейной корреляции Пирсона между этими величинами равен 0,63. Плотность пространственного распределения конвективных ОЯ была приведена к максимальной по территории региона плотности наблюдательной сети, равной 2,55 пунктов/1 000 км² (рисунок 6).

В 3.2 рассматриваются особенности использования многолетних рядов данных ДЗЗ для картографирования конвективных ОЯ на примере смерчей, которые практически никогда не фиксируются метеостанциями, и мезомасштаб-

ных облачных конвективных систем (МКС), которые вызывают сильные ливни, крупный град, смерчи.

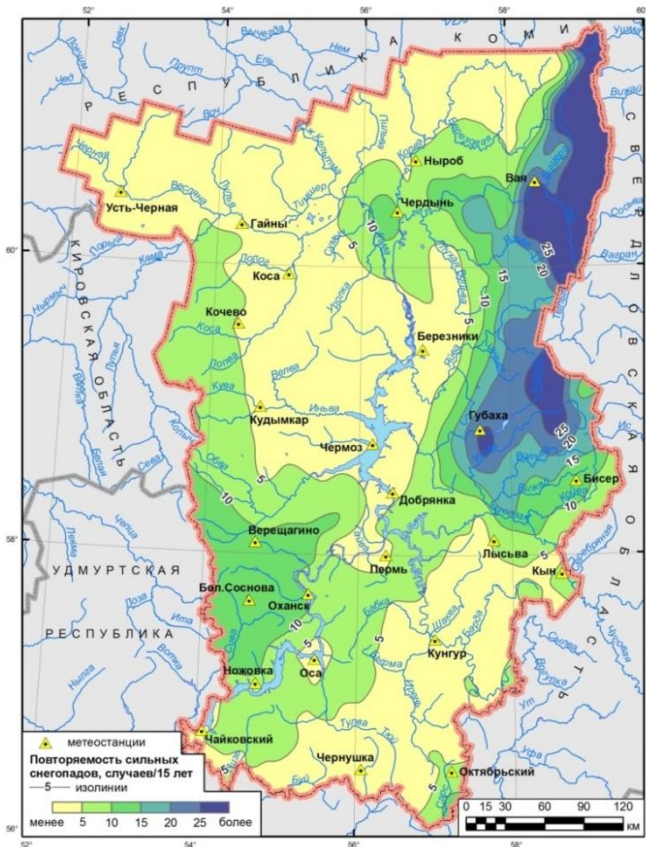


Рисунок 4 – Повторяемость сильных снегопадов

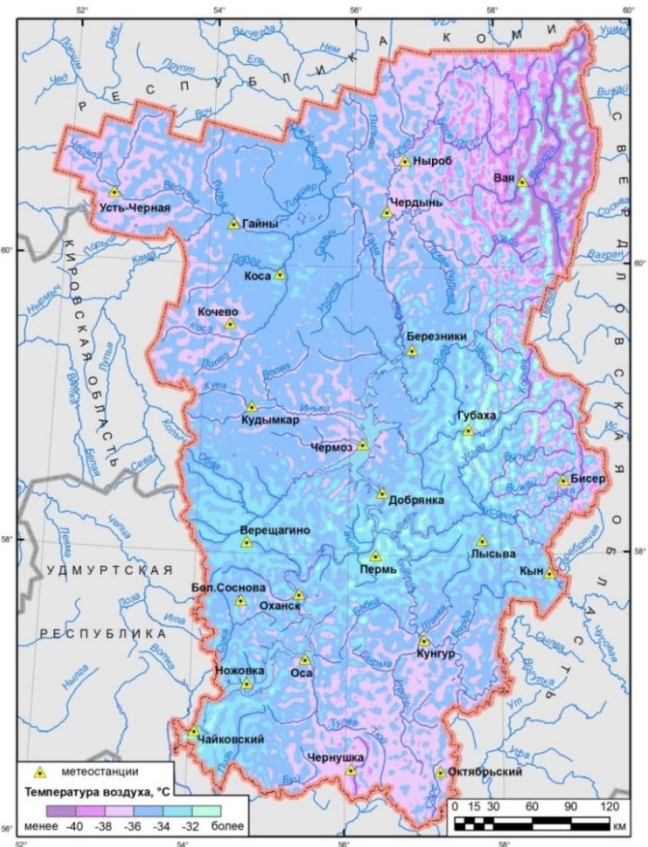


Рисунок 5 – Среднегодовой минимум температуры воздуха

Случаи смерчей, не зафиксированные наблюдательной сетью, были выявлены на основе идентификации вызванных ими ветровалов. Для этого использован многолетний ряд космических снимков Landsat и тематические продукты их обработки (Global Forest Change Map и Eastern Europe's forest cover change), содержащие информацию о нарушениях лесного покрова с 1985 по 2014 г. в глобальном масштабе, а также космические снимки сверхвысокого разрешения с открытых картографических сервисов. Всего в Пермском крае с 1981 по 2015 г. подтверждено 18 случаев смерчей, из них 12 – по данным о ветровалах. Пространственное распределение случаев смерчей показано на рисунке 7.

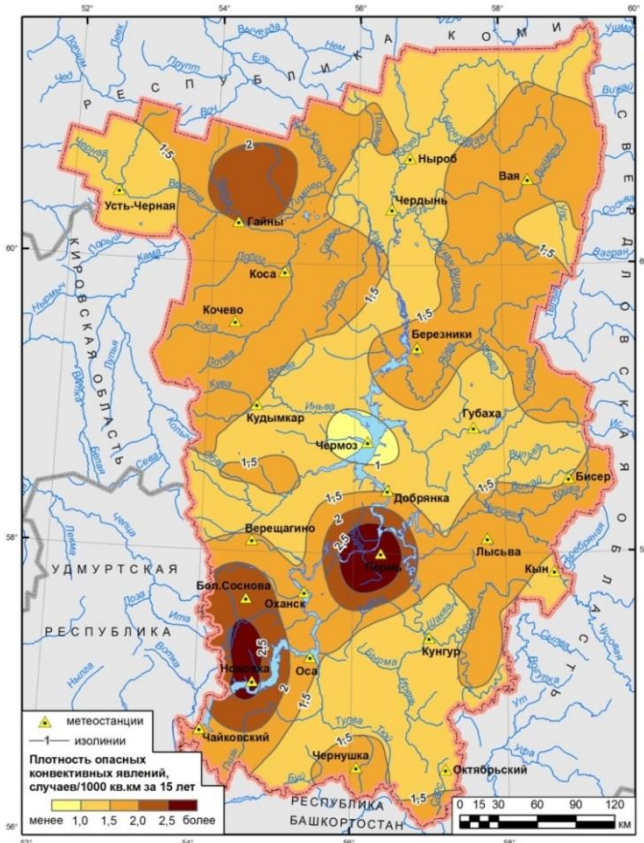


Рисунок 6 – Плотность пространственного распределения опасных конвективных явлений в 2001–2015 гг.

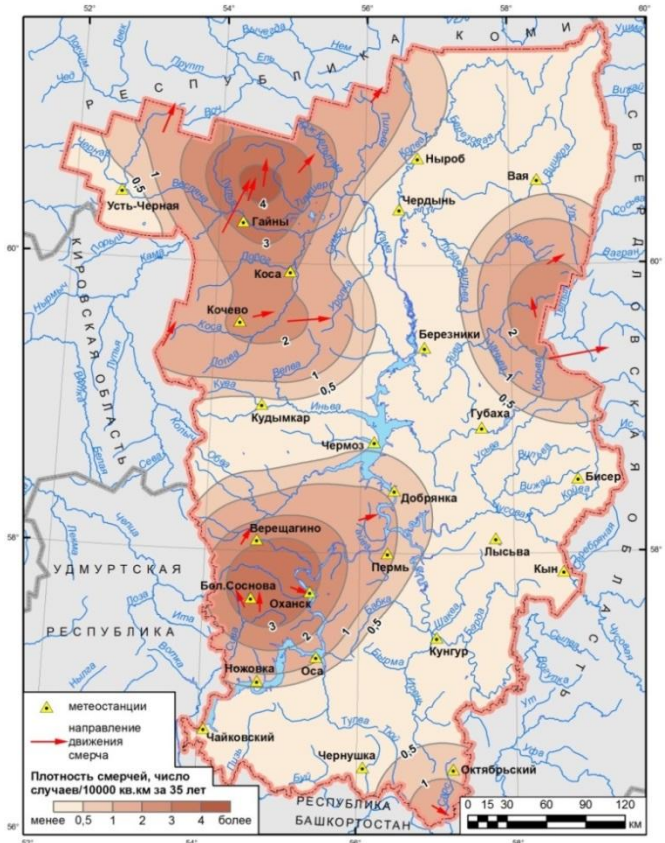


Рисунок 7 – Пространственное распределение случаев смерчей в 1981–2015 гг.

Для оценки частоты прохождения мезомасштабных конвективных систем с опасными явлениями погоды на территории Пермского края были использованы многолетний ряд снимков Terra/Aqua MODIS и сведения о случаях гроз на метеостанциях. Тестирование методики производилось на материалах 2012–2016 гг. (всего обработано более 150 снимков). Выделение МКС, способных вызвать опасные явления погоды, выполнялось по пороговому значению температуры верхней границы облаков, принятому равным минус 52 °С. Температура ниже этого значения, как правило, соответствует зонам активной конвекции с высокой вероятностью развития ОЯ. Полученная карта частоты прохождения МКС представлена на рисунке 8.

В 3.3 описаны методики создания синтетических карт ОГМЯ для комплексной оценки подверженности территории их воздействию. На основе многолетних данных о случаях опасных метеорологических явлений в Пермском крае была построена карта интегральной оценки повторяемости климатических экстремумов, а также проведено районирование территории по преобладающим видам ОЯ. В качестве исходных данных для построения синтетических карт использовались карты повторяемости опасных метеорологических явлений, представленные в 3.1. Все исходные данные представлены в виде растров с размером ячейки 1 000 м.

Карта интегральной оценки повторяемости климатических экстремумов была создана на основе метода взвешенной интегральной балльной оценки. В качестве весовых показателей использовались данные о факте наличия или отсутствия ущерба от различных видов ОЯ, произошедших на всей территории региона, и соотношение их повторяемости. Полученная карта представлена на рисунке 9.

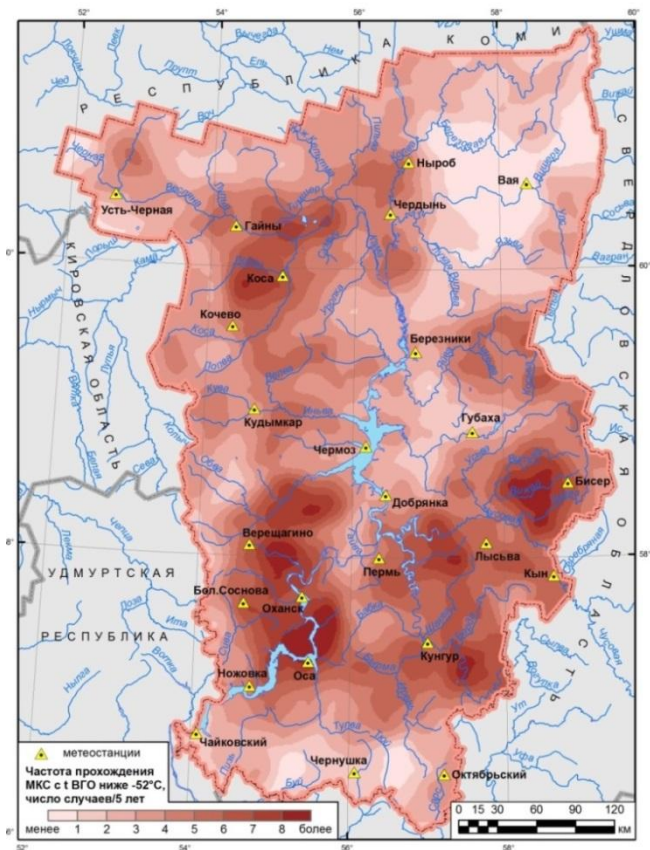


Рисунок 8 – Частота прохождения мезомасштабных конвективных систем

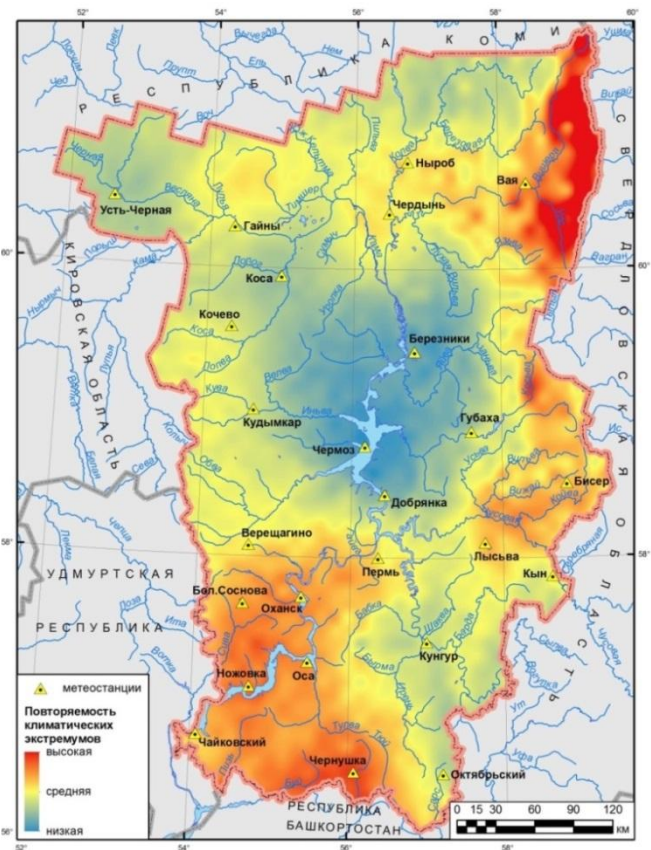


Рисунок 9 – Интегральная оценка повторяемости климатических экстремумов

Районирование территории по преобладающим видам опасных метеорологических явлений было проведено экспертным методом, а также на основе пространственного кластерного анализа. Экспертное районирование основано на сравнении повторяемости опасного явления в каждой ячейке с его средним значением и стандартным отклонением, для каждого типа ОЯ.

Для проведения экспертного районирования исходные данные подверглись нормализации с помощью степенного или логарифмического преобразования, поскольку их распределение отличалось от нормального. Далее на основе среднего значения повторяемости и стандартного отклонения, для каждого типа явления был выполнен переход от количественных характеристик повторяемости ОЯ к качественным. Затем полученные растры повторяемости, выраженной в качественных характеристиках, были конвертированы в векторное представление данных и объединены. Далее на основе характерных сочетаний повторяемости различных видов ОЯ были выделены шесть районов (рисунок 10, *а*).

Для районирования территории по преобладающим видам опасных явлений на основе пространственного кластерного анализа использовался инструмент Анализ группировки программного пакета ArcGIS, который проводит кластеризацию объектов на основе атрибутивной информации с указанием пространственных ограничений, позволяющих получать компактные, непрерывные или близкие в пространстве кластеры. Для обеспечения пространственной связности кластеров было использовано ограничение, при котором объекты одной группы граничат друг с другом. Оптимальное число кластеров было определено на основе расчета псевдо- f статистики, которая отражает сходство объектов в кластере и различие между кластерами. Результаты ее вычисления показали, что оптимальным является выделение в исходных данных восьми кластеров. Конечный продукт кластеризации приведен на рисунке 10, *б*.

Результаты районирования территории Пермского края по преобладающим видам ОЯ, полученные двумя способами, схожи. Так, в обоих случаях выделены близкие по очертаниям границ районы высокой повторяемости сильных до-

ждей и снегопадов, сильных морозов, сильной жары. Различия между полученными результатами районирования носят частный характер.

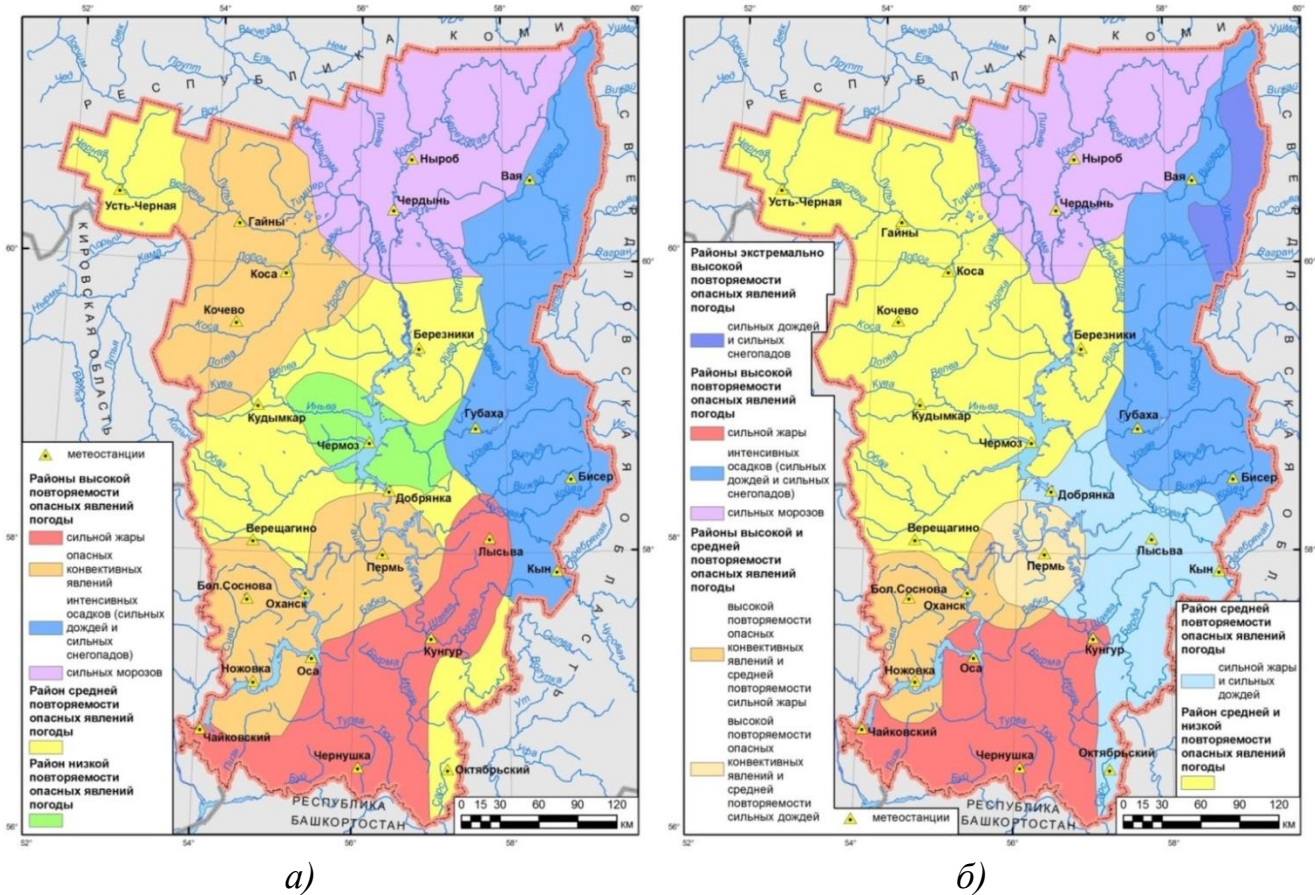


Рисунок 10 – Районирование территории Пермского края по преобладающим видам опасных метеорологических явлений: а) полученное экспертным методом; б) построенное методом пространственного кластерного анализа

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования были разработаны научно-обоснованные подходы к проектированию, созданию и информационному наполнению региональной атласной информационной системы опасных гидрометеорологических явлений на примере территории Уральского Прикамья. В диссертации рассмотрены особенности разработки прототипа такой АИС, а также новые методические приемы и алгоритмы картографирования пространственно-временного распределения ОГМЯ на региональном уровне, основанные на

комбинировании всех доступных источников данных об ОГМЯ и учете особенностей подстилающей поверхности. Они положены в основу формирования функционального и информационного наполнения АИС.

Итоги диссертационного исследования заключаются в следующем:

– проведен анализ российского и зарубежного опыта картографирования опасных природных явлений (и в частности ОГМЯ), который показал, что большинство карт ОГМЯ создается на глобальном, макрорегиональном и национальном территориально-иерархических уровнях, а на региональном уровне таких работ известно немного ввиду ряда сложностей, связанных с дефицитом и неоднородностью исходной информации. На основании этого выявлена необходимость разработки алгоритмов картографирования ОГМЯ на региональном уровне;

– выделены характерные особенности проектирования и создания региональной АИС ОГМЯ. К ним относятся использование большого массива разнородных данных при формировании ее информационной основы и организация доступа пользователей к АИС в интерфейсе веб-приложения. АИС должна включать следующие основные функциональные возможности: визуализация данных различными способами (карты, анимации и другие геоизображения, а также графики, диаграммы и таблицы); поиск и анализ данных (на основе пространственных и атрибутивных запросов, выполнения оверлейных операций, расчета статистической информации); просмотр информации об опасных явлениях из внешних баз данных; автоматизированное построение карт. С учетом выявленных особенностей впервые разработан универсальный прототип региональной АИС ОГМЯ на примере Уральского Прикамья, который может использоваться как типовое решение для любых регионов со сходными природно-климатическими условиями;

– разработан комплекс научно-обоснованных алгоритмов картографирования ОГМЯ на региональном уровне, который позволяет получать достоверную информацию об их пространственно-временном распределении в условиях

дефицита исходных данных наблюдательной сети. Первый из них – интерполяция данных сети наблюдений с учетом выявляемых регрессионных зависимостей от свойств подстилающей поверхности. Другим способом, подходящим для картографирования локальных опасных явлений конвективного характера, является расчет плотности их пространственного распределения на основе данных стационарных наблюдений и дополнительной информации (например, данных об ущербе от них). Выявлено, что для картографирования частоты возникновения локальных опасных явлений погоды, не фиксируемых наблюдательной сетью, эффективным средством получения объективной информации являются многолетние ряды данных космической съемки и тематические продукты их обработки. На их основе получены новые карты пространственно-временного распределения смерчей и мезомасштабных конвективных систем в регионе. Для комплексной оценки подверженности территории воздействию ОГМЯ разработаны алгоритмы построения синтетических карт, позволяющие получить интегральную оценку повторяемости климатических экстремумов и провести районирование территории региона по их преобладающим видам;

– разработанные алгоритмы картографирования пространственно-временного распределения ОГМЯ апробированы средствами функциональных возможностей АИС. В качестве тематического наполнения в АИС представлены карты режимных характеристик (повторяемости и интенсивности) различных видов ОГМЯ, а также синтетические карты. Они получены на базе разработанных алгоритмов. Кроме того, в АИС ОГМЯ имеются инструменты автоматизированного построения карт пространственно-временного распределения ОГМЯ за различные периоды времени, в основе реализации которых лежат разработанные алгоритмы картографирования.

Полученные результаты диссертационного исследования в *перспективе* могут использоваться в системе поддержки принятия решений в области управления рисками возникновения чрезвычайных ситуаций природного характера, в частности при разработке паспортов безопасности муниципальных образова-

ний и при оценке воздействия ОГМЯ на природные ресурсы и экономику региона. Также разработанный прототип АИС ОГМЯ может быть использован другими регионами со сходными природно-климатическими условиями.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Шихов, А. Н. Мониторинг формирования и прохождения весеннего половодья на реках водосбора Воткинского в 2014 г. [Электронный ресурс] / А. Н. Шихов, Р. К. Абдуллин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4. – Режим доступа : URL: www.science-education.ru/118-13834.

2 Абдуллин, Р. К. Картографирование пространственно-временного распределения опасных гидрометеорологических явлений в Пермском крае [Текст] / Р. К. Абдуллин, А. Н. Шихов // Вестник Удмуртского ун-та. Сер. Биология. Науки о земле. – 2015. – № 4.– С. 98–106.

3 Пьянков, С. В. Опыт создания регионального атласа опасных гидрометеорологических явлений (на примере Уральского Прикамья) [Текст] / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов, Р. К. Абдуллин // Географический вестник. – 2016. – № 1 (36). – С. 120–131.

4 Абдуллин, Р. К. Методика идентификации смерчевых ветровалов по спутниковым снимкам Landsat и тематическим продуктам их обработки [Текст] / Р. К. Абдуллин, А. Н. Шихов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка.– 2016. – № 4. – С. 93–100.

5 Абдуллин, Р. К. Современное состояние картографирования опасных гидрометеорологических явлений [Текст] / Р. К. Абдуллин // Географический вестник. – 2016. – № 3 (38). – С. 151–160.

6 Пьянков, С. В. Методические основы создания регионального атласа опасных гидрометеорологических явлений (на примере Уральского Прикамья) [Текст] / С. В. Пьянков, Р. К. Абдуллин, А. Н. Шихов // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 5. – С. 56–62.

7 Абдуллин, Р. К. Математико-картографическое моделирование пространственно-временного распределения опасных явлений погоды [Текст] / Р. К. Абдуллин, А. Н. Шихов // Геодезия и картография. – 2017. – № 2. – С. 26–32.

8 Шихов, А. Н. Моделирование зон затопления при образовании ледового затора на реках с помощью ГИС-технологий (на примере с. Бобровка и пос. Усьва Пермского края) [Текст] / А. Н. Шихов, Р. К. Абдуллин // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края : сб. науч. тр. – Пермь, 2013. – Вып. 6. – С. 41–55.

9 Абдуллин, Р. К. Мониторинг процессов снеготаяния и прохождения весеннего половодья на территории водосбора Воткинского водохранилища в 2014 году [Текст] / Р. К. Абдуллин, А. Н. Шихов // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края : сб. науч. тр. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2014. – Вып. 7. – С. 5–13.

10 Абдуллин, Р. К. Создание Атласа опасных гидрометеорологических явлений [Текст] / Р. К. Абдуллин, А. Н. Шихов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : 6-я Междунар. конф. «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху "Больших данных"» : сб. материалов (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – С. 43–47.

11 Пьянков, С. В. Атлас опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья [Текст] / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов, Р. К. Абдуллин // Атласное картографирование: традиции и инновации : материалы X науч. конф. по темат. картографии, Иркутск, 22–24 окт. 2015 г. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН. – 2015. – С. 43–45.

12 Абдуллин, Р. К. Подходы к картографированию пространственно-временного распределения опасных метеорологических явлений на примере Пермского края [Текст] / Р. К. Абдуллин, А. Н. Шихов // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2015. – Вып. 8. – С. 5–13.

13 Абдуллин, Р. К. Картографическая база данных для исследования опасных гидрометеорологических явлений (на примере Пермского края) [Текст] / Р. К. Абдуллин // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : 7-я Междунар. конф. «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху "Больших данных"» : сб. материалов (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 22–26.

14 Абдуллин, Р. К. Картографические веб-сервисы для изучения опасных природных явлений [Текст] / Р. К. Абдуллин // ИнтерКарто/ИнтерГИС 22 «Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий в условиях глобальных изменений климата» : материалы междунар. науч. конф. – М. : НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА, 2016. –Т. 1. – С. 226–233.

15 Пьянков, С. В. Атласное картографирование опасных гидрометеорологических явлений на региональном уровне [Текст] / С. В. Пьянков, А. Н. Шихов, Р. К. Абдуллин, Е. С. Черепанова // Экология, Экономика, Информатика : материалы междунар. конф. : сб. ст. в 2 т. Ин-т аридных зон, Южный науч. центр РАН, Южный федер. ун-т. Т. 2 : Геоинформационные технологии и космический мониторинг. – Ростов н/Д., 2016. – С. 143–151.

16 Абдуллин, Р. К. Разработка региональной атласной информационной системы опасных гидрометеорологических явлений (на примере Пермского края) [Текст] / Р. К. Абдуллин, С. И. Перминов // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края : сб. науч. тр. / Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2016. – Вып. 9. – С. 6–14.