

На правах рукописи



Кочев Денис Владимирович

**ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НАВОДНЕНИЙ НА
ХОЗЯЙСТВЕННО ОСВОЕННЫЕ ТЕРРИТОРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
АЛГОРИТМОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА
(НА ПРИМЕРЕ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО КРАЯ)**

1.6.21. Геоэкология (географические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Улан-Удэ – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении высшего образования «Забайкальский государственный университет» (ФГБОУ ВО «ЗабГУ»), Забайкальский край, г. Чита

Научный руководитель:	Бешенцев Андрей Николаевич, доктор географических наук, профессор РАН, заведующий лабораторией геоинформационных систем Байкальского института природопользования Сибирского отделения Российской академии наук, г. Улан-Удэ
Официальные оппоненты:	Шихов Андрей Николаевич, доктор географических наук, доцент, профессор кафедры картографии и геоинформатики Географического факультета Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь Морейдо Всеволод Михайлович, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией гидроинформатики Отдела гидрологии речных бассейнов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института водных проблем Российской академии наук, г. Москва
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Владивосток

Защита состоится «6» октября 2026 г. в 10:00 ч. на заседании диссертационного совета 24.1.506.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Байкальского института природопользования Сибирского отделения Российской академии наук (БИП СО РАН) по адресу: 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6.

E-mail: dissovet@binm.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте БИП СО РАН www.binm.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2026 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета, к.г.н.  Жарникова Маргарита Андреевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Наводнения являются опасными природными явлениями, оказывающими серьезное негативное влияние на гидроэкологическую безопасность территорий, существенно снижающими качество жизни населения и наносящими экономический ущерб. Особую остроту эта проблема приобретает в регионах с высокой долей хозяйственного освоения пойменных территорий, к которым относится и Забайкальский край, исторически подверженный катастрофическим наводнениям с ущербом, достигающим миллиардов рублей. При чрезвычайно высоком общем уровне опасности наводнений в Забайкальском крае их риск, оцениваемый как совокупность вероятности затопления и возможных потерь, распределен крайне неравномерно, но закономерности его пространственного распределения до настоящего времени недостаточно исследованы.

Анализ статистических данных последствий наводнений в Забайкальском крае показывает, что при длительном отсутствии угрозы затопления в маловодную фазу гидрологического цикла опасные территории зачастую активно застраиваются и осваиваются, что приводит к возрастанию социальных, экономических и экологических потерь. Случаи нарушения запрета строительства капитальных зданий и сооружений в границах затопления выявляются со значительным опозданием, так как традиционные картографические методы не позволяют своевременно выявлять новые строительные объекты. В связи с этим интерес представляют методы автоматизированного выявления объектов инфраструктуры и картографирования динамики освоения пойменных территорий, применение которых позволит осуществлять оперативную оценку уязвимости территорий и последствий стихийных бедствий, а также планирование спасательных и восстановительных работ в условиях дефицита времени и ресурсов.

Таким образом, разработка методики геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории с применением данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и искусственного интеллекта с ее апробацией на примере субъекта Российской Федерации является актуальным научно–прикладным исследованием.

Степень разработанности темы. Основные положения обеспечения гидроэкологической безопасности страны и отдельных территорий изложены в работах (Гармаев, Христофоров, 2010; Алексеевский, Фролова и др., 2011). Рассмотрены природные и антропогенные причины наводнений (Таратунин, 2013; Авакян, Истомина, 2013; Кичигина, 2018), динамика водного режима рек Забайкалья и сопутствующие опасные гидрологические явления (Шаликовский и др., 2022). Разработаны различные варианты районирования территории РФ и отдельных субъектов по уровню опасности наводнений (Фролова и др., 2017; Кичигина, 2018; Chernokulsky и др., 2025).

С 90–х годов XX века активно развиваются дистанционные методы мониторинга водных поверхностей: предложены и широко применяются

спектральные индексы NDWI (McFeeters, 1996), MNDWI и их модификации (Xu, 2006), а метод Height Above the Nearest Drainage (HAND) (Nobre и др., 2011) адаптирован для отечественных условий (Курганович и др., 2024).

Повышение точности картографирования стало возможным благодаря внедрению БПЛА и алгоритмов Structure-from-Motion (Westoby и др., 2012; Colomina, Molina, 2014). Развивается дешифрирование снимков на основе сверточных нейронных сетей: базовые архитектуры CNN (Krizhevsky и др., 2012; He и др., 2016) модифицированы для идентификации урбанизированных объектов (Zhang и др., 2020). Однако существующие работы, как правило, направлены на компьютерное зрение, либо на гидрологический анализ и не объединяют обе задачи для оценки уязвимости объектов инфраструктуры.

Методологические основы геоинформационного картографирования урбанизированных территорий разработаны в трудах (Берлянт, 1997; Тикунов, 1997, 1999), концепции мониторинга земель, объектов инфраструктуры (Беленко, 2019), разработана методика комплексного мониторинга урбанизированных площадей (Бешенцев, 2020).

Таким образом, несмотря на значительный научный задел в областях гидрологии паводков, ДЗЗ, дешифрирования и геоинформационного анализа, методика геоэкологической оценки хозяйственно освоенных территорий, подверженных наводнениям, особенно применительно к специфическим природно-климатическим условиям Забайкальского края, до настоящего времени не разработана в полной мере. Настоящее исследование призвано устранить указанный пробел путем комплексирования данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА, алгоритмов искусственного интеллекта и ГИС-моделирования.

Объектом исследования являются хозяйственно освоенные территории Забайкальского края, подверженные периодическому затоплению речными водами.

Предмет исследования: геоэкологическая оценка опасности и риска наводнений на основе ГИС-технологий и современных методов анализа пространственных данных на основе алгоритмов искусственного интеллекта.

Цель исследования: разработка и апробация интегральной методики геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории, обеспечивающей автоматизированную регистрацию зон затопления и объектов хозяйственной инфраструктуры, подверженных риску на основе комплексирования данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА и алгоритмов искусственного интеллекта.

Задачи:

1. Провести анализ пространственно-временной динамики освоения паводкоопасных территорий Забайкальского края и выявить тенденции изменения риска и потенциального ущерба от наводнений.

2. Выполнить комплексирование данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА для определения, уточнения и актуализации границ зон затопления с целью детального картографирования территорий, подверженных наводнениям.

3. Разработать компьютерную программу, основанную на алгоритмах искусственного интеллекта (сверточной нейронной сети), позволяющую идентифицировать хозяйственно освоенные территории и объекты инфраструктуры по интегрированным данным ДЗЗ из космоса и с БПЛА.

4. Разработать интегральную методику геоэкологической оценки воздействия наводнений, обеспечивающую в автоматизированном режиме реализацию комплекса камеральных и полевых работ по регистрации и цифровой визуализации потенциальных зон затопления и вероятных рисков для хозяйственной инфраструктуры.

5. Провести апробацию интегральной методики геоэкологической оценки на примере населенных пунктов Забайкальского края, составить серию карт геоэкологического зонирования территорий населенных пунктов, выполнить районирование территории Забайкальского края по степени опасности наводнений.

Тема диссертационного исследования соответствует п. 9 и п. 16 паспорта специальности 1.6.21. «Геоэкология» (географические науки):

9. «Динамика, механизмы, факторы и закономерности развития опасных природных, природно-техногенных и техногенных процессов, оценка их активности, опасности и риска проявления. Разработка методов и технологий оперативного обнаружения и прогноза возникновения катастрофических природно-техногенных процессов, последствия их проявления и превентивные мероприятия по их снижению, инженерная защита территорий, зданий и сооружений».

16. «Моделирование геоэкологических процессов и последствий хозяйственной деятельности для природных комплексов и их отдельных компонентов. Современные методы геоэкологического картирования, ГИС – технологии и информационные системы в геоэкологии».

Научная новизна. Разработана интегральная методика геоэкологической оценки паводкоопасных территорий, объединяющая разномасштабный анализ данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА, автоматизированное дешифрирование объектов застройки на основе алгоритмов искусственного интеллекта, адаптацию нормативных гидрологических данных для многоуровневого зонирования территории по степени опасности затопления.

Предложен научно–технический подход, позволяющий перейти от сплошного наблюдения территории к целевому контролю формирования гидрологических опасностей на сети ключевых мониторинговых участков с потенциальными ущербами от наводнений.

Выявлены пространственно–временные закономерности распределения риска наводнений для населенных пунктов и муниципальных районов Забайкальского края, представляющие собой новое знание о географических и гидрологических процессах в регионе.

Теоретическая значимость работы. На основе созданного картографического материала установлены и количественно оценены пространственно–временные закономерности увеличения плотности застройки

и земельных участков в паводкоопасных зонах, что является ключевым фактором роста потенциального ущерба.

Полученная картографическая информация является базовой для разработки генеральных планов развития и схем территориального планирования.

Практическая значимость работы. Создана авторская компьютерная программа для автоматизированного дешифрирования объектов застройки на основе сверточных нейронных сетей, повышающая точность и эффективность обработки комплексированных данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА высокого разрешения для задач оценки возможных социальных и экономических рисков при наводнениях.

Впервые для населенных пунктов Забайкальского края составлена серия взаимосвязанных пространственных карт (современных и ретроспективных), включающая информацию о динамике застройки, границах затопления, а также зонировании уровня опасности от наводнений в пределах границ затопления.

Исходный материал и методы исследования. Методологической основой работы являются научные труды отечественных и зарубежных ученых в областях геоэкологии, гидрологии, картографии, аэрокосмических исследований, машинного обучения.

Методы исследования: 1) полевые измерения и наблюдения с использованием GNSS и БПЛА для визуального обследования объектов застройки и защитных сооружений; 2) геоинформационный анализ и картографирование; 3) математическая обработка статистических данных (уровень воды сети Росгидромета в период паводков; спектральные водные индексы; данные, полученные с БПЛА; результаты ДЗЗ, полученные с различных платформ, включая Landsat, Sentinel, WorldView, QuickBird и Ikonos); 4) визуальный анализ карт зон затопления и картографических материалов из открытых источников, включая ресурсы Google Maps, Yandex Maps, OpenStreetMap и др.; 5) геоэкологическая оценка и картографирование хозяйственно освоенных территорий Забайкальского края; 6) ДЗЗ и цифровая обработка данных с целью получения ЦМР и ортофотопланов высокого разрешения; 7) фотограмметрическая обработка данных ДЗЗ (Structure from Motion); 8) математическое моделирование (методы машинного обучения).

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Комплексирование данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА на основе алгоритмов искусственного интеллекта обеспечивает надежную и высокоточную идентификацию затопляемых территорий и объектов хозяйственной инфраструктуры.

2. Интегральная методика геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории, в автоматизированном режиме обеспечивает весь комплекс камеральных и полевых работ по регистрации и цифровой визуализации потенциальных зон затопления и подверженных риску объектов хозяйственной инфраструктуры.

3. Зонирование территории Забайкальского края по степени потенциальной опасности, крупномасштабного картографирования объектов хозяйственной инфраструктуры, а также определение возможных ущербов позволяет осуществить геоэкологическую оценку воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории.

Достоверность и обоснованность обусловлена применением комплекса современных методов (ГИС–моделирование, автоматизированное дешифрирование, полевые наблюдения), подтверждена сходимостью результатов реконструкции уровней воды с данными гидрологических постов (погрешность 0,23 м при разрешении ЦМР 0,3 м) и высокой точностью автоматизированного дешифрирования объектов инфраструктуры (F1-мера = 0,93). Использованы верифицированные данные ДЗЗ (Landsat, Sentinel, WorldView, QuickBird и Ikonos) и полевые измерения с сертифицированным оборудованием. Методика апробирована на реальных паводках, результаты сопоставимы с независимыми источниками и обработаны статистическими методами.

Личный вклад автора. Результаты, представленные в работе, получены автором самостоятельно при непосредственном участии в экспедиционных и хозяйственно–договорных работах. Автор самостоятельно оптимизировал нейронную сеть для автоматической классификации спутниковых и аэрофотоснимков, а также провел апробацию методики на примере территорий Забайкальского края. Используемые в исследовании зоны затопления были разработаны с участием автора в рамках научных и хозяйственно–договорных работ. Разработана программа для ЭВМ (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024618101 РФ).

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты работы представлены на региональных, всероссийских и международных научно–практических конференциях: XV Международный научно–практический симпозиум «Чистая вода России–2019 (Екатеринбург, 2019)», XI Международный конкурс научно–исследовательских проектов молодых ученых и студентов «Eurasia Green» (Екатеринбург, 2020), Региональный конкурс научно–исследовательских проектов научно–технического творчества молодежи «НТТМ–2020», Всероссийский конкурс научно–исследовательских работ студентов и аспирантов вузов России «Шаг в науку» (Томск, 2021), III Всероссийская конференция с международным участием «Эволюция биосферы и техногенез» (Чита, 2022), Международная научно–практическая конференция молодых ученых «Научный вектор в АТР» (Чита, 2022), XIX–XXII Международная научно–практическая конференция «Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов» (Чита, 2019–2024). Исполнитель проекта в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: тема № 124110700039–6 «Оценка пространственной корреляции потенциалов и ограничений регионального развития» (научный сотрудник лаборатории «Прикладная математика» ФГБОУ ВО «ЗабГУ»).

Обоснована необходимость осуществления превентивных мероприятий по защите паводкоопасных территорий органами власти и организациями, ответственными за территориальное планирование и градостроительство. Методика использована при осуществлении мониторинга объектов жилой застройки на селитебных и урбанизированных территориях, подверженных опасным гидрологическим явлениям Министерством природных ресурсов Забайкальского края (акт внедрения от 12.12.2025).

Результаты диссертационной работы внедрены в практическую деятельность Восточного филиала ФГБУ РосНИИВХ и были использованы при выполнении научно–исследовательской работы: «Разработка научно–обоснованных методов оценки вероятностного ущерба от негативного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий» (акт внедрения № 1–В–25 от 27.08.2025 г.).

Результаты исследования используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет» (акт внедрения № 31.3–3600 от 12.12.2025 г.).

Получена медаль РАН с премией для студентов ВУЗов за работу «Гибридный метод анализа данных дистанционного зондирования Земли и беспилотных летательных аппаратов с целью картографирования территорий подверженных наводнениям».

Работа выполнена при поддержке Забайкальского государственного университета (грант № 345–ГР 122031400091–7); Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно–технической сфере (грант № 17803ГУ/2022).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе: 6 статей – в изданиях, включенных в Перечень ВАК, и в изданиях, индексируемых RSCI/Scopus, 1 программа для ЭВМ, а также 11 работ в прочих изданиях и материалах.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы и приложения. Текст работы изложен на 189 страницах, содержит 75 рисунков и 20 таблиц, 5 приложений.

Благодарности. Автор выражает признательность всем, кто оказал помощь и поддержку во время написания данной работы. Научному руководителю, заведующему лабораторией геоинформационных систем БИП СО РАН, д-ру геогр. наук, профессору РАН Бешенцеву А.Н. за глубокий анализ работы, ценные советы, конструктивные замечания; канд. техн. наук, доценту кафедры инженерной экологии ФГБОУ ВО ЗабГУ Кургановичу К.А. за всеобъемлющую и всестороннюю помощь в подготовке данной работы на всех ее этапах; канд. техн. наук, доценту, директору Восточного филиала ФГБУ РосНИИВХ Шаликовскому А.В. за предоставленные материалы, ценные советы и рекомендации; д-ру техн. наук, профессору ФГБОУ ВО ЗабГУ Шумиловой Л.В. за экспертные советы, рекомендации и содержательную критику; д-ру геогр. наук, доценту ЗабГУ Новикову А.Н. за помощь, поддержку и постоянное внимание к работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы геоэкологической оценки и последующего картографирования урбанизированных территорий, подверженных наводнениям, в условиях изменяющегося климата и интенсивного хозяйственного освоения территорий. Представлены объект и предмет исследования, цель, задачи, научная новизна, практическая значимость работы, приведены основные защищаемые положения.

В 1 главе проанализирована динамика освоения паводкоопасных территорий, определены природные и антропогенные факторы наводнений. Представлена характеристика природных условий Забайкальского края, оценены паводкоопасная обстановка и наносимый ущерб. Выявлены ограничения существующих методов дешифрирования объектов инфраструктуры.

Во 2 главе обоснована необходимость разработки новых методов анализа зон затопления в связи с учащением паводков. Предложен подход, сочетающий данные ДЗЗ и высокодетальные модели рельефа с БПЛА, что компенсирует недостаточную детализацию космических снимков при картографировании затапливаемых участков.

В 3 главе разработана программа для автоматизированного дешифрирования объектов инфраструктуры на данных ДЗЗ при помощи сверточной нейронной сети. Предложена интегральная методика геоэкологической оценки, объединяющая подходы комплексирования данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА с автоматизированной идентификацией зданий и объектов инфраструктуры.

В 4 главе выполнено типологическое районирование Забайкальского края по интегральной степени опасности наводнений с учетом природных и социально-экономических факторов. На локальном уровне с применением разработанной методики создана серия современных и ретроспективных карт зонирования паводкоопасных территорий (от малоопасных до чрезвычайно опасных) и сформирована сеть мониторинговых участков уязвимой инфраструктуры в границах затопления.

На обсуждение выносятся следующие научные положения, представляющие предмет защиты диссертации:

1. Комплексирование данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА на основе алгоритмов искусственного интеллекта обеспечивает надежную и высокоточную идентификацию затапливаемых территорий и объектов хозяйственной инфраструктуры.

За июнь–июль 2021 года за три серии наводнений пострадало 17 муниципальных районов Забайкальского края, 48 населенных пунктов (2664 жилых домов, 2728 приусадебных участков, 127 объектов социальной инфраструктуры), разрушено 45 и повреждено 26 мостов, признаны пострадавшими 15110 человек. Общий ущерб составил порядка 5,9–6,5 млрд рублей.

Для организации противопаводковых мероприятий и защиты территорий от наводнений необходимо устанавливать границы зон затопления. Традиционно для их определения используют методы гидрологических расчетов и гидродинамического моделирования. Однако при этом возникает сложность в сопоставлении расчетных данных и границ затопления от реальных паводков из-за недостатка информации по последним, без чего крайне сложно произвести калибровку применяемых моделей.

Данный недостаток можно устранить за счет анализа космических снимков реальных наводнений, произошедших в прошлом, а совместное использование с ЦМР, полученных с БПЛА дает возможность получить актуализированную информацию об исследуемых объектах и построить детальную модель затапливаемой местности сверхвысокого пространственного разрешения. Это позволяет не только повысить точность картографирования зон затопления, но и актуализировать информацию о гидрологических и геологических особенностях исследуемой территории.

Построение модели рельефа высокой детальности осуществлялось при помощи обработки данных БПЛА методом фотограмметрической обработки Structure From Motion.

Комплексирование включает следующие этапы, представленные на схеме (рисунок 1). В результате создается карта границ зон затопления высокой детальности по данным ДЗЗ из космоса и с БПЛА.

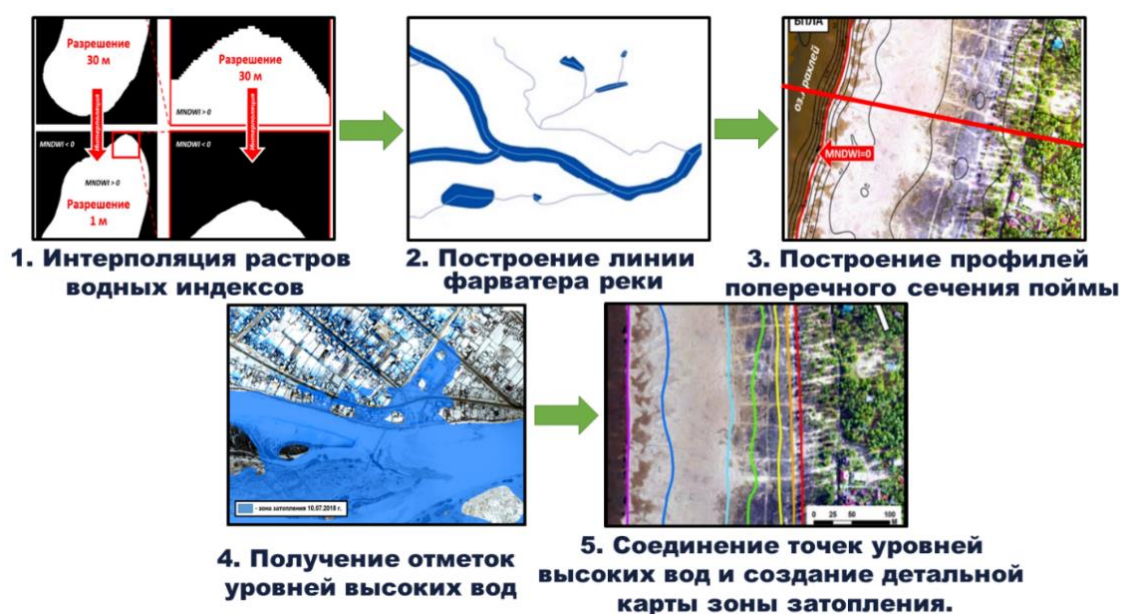


Рисунок 1 – Схема комплексирования данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА для картографирования территорий, подверженных наводнениям

Разработан и программно реализован подход автоматизированной идентификации зданий и объектов инфраструктуры на данных ДЗЗ, основанный на применении сверточной нейронной сети. Это обеспечивает большой объем и высокую точность дешифрирования, что позволяет оперативно формировать

геоэкологические карты для оценки рисков и принятия эффективных управленческих решений на исследуемых территориях (рисунок 2).

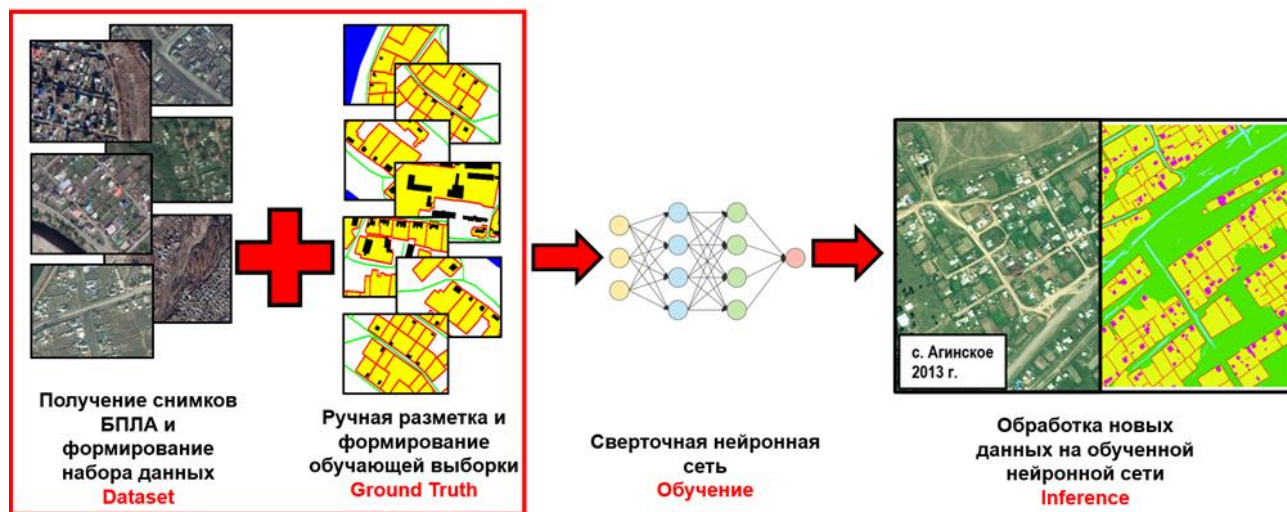


Рисунок 2 – Алгоритм автоматизированной идентификации зданий и объектов инфраструктуры с помощью нейронной сети

Для осуществления автоматизированного дешифрирования необходимо выбрать эффективную архитектуру сверточной нейронной сети и осуществить ее обучение. В качестве базовой архитектуры выбрана сверточная сеть U-Net с энкодером SE-ResNeXt50, показавшая наилучшее соотношение точности и скорости. Во время процесса обучения данная конфигурация показала минимальную функцию потерь (рисунок 3).

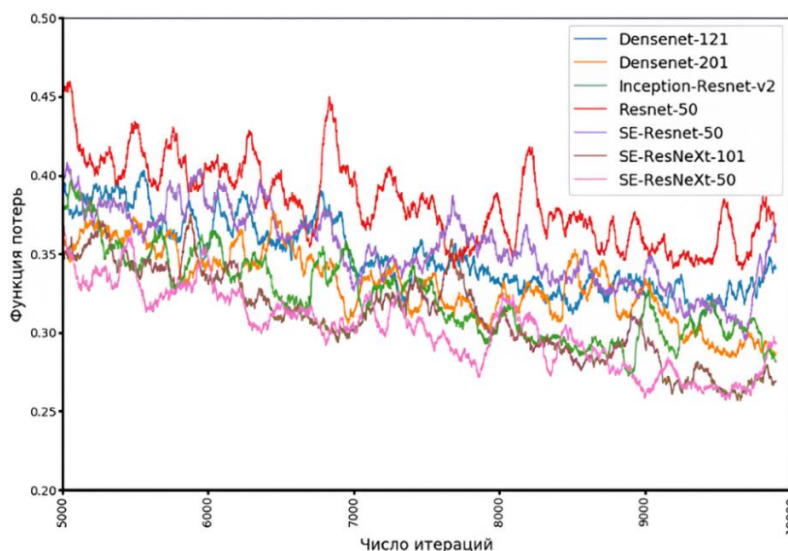


Рисунок 3 – Функции потерь у различных энкодеров сверточной нейронной сети

После обучения нейронной сети, в процессе валидации наилучшей модели при анализе матрицы ошибок, отмечено неравномерное качество выявления объектов разных классов. Классы «реки», «участки» и «неклассифицированные объекты» продемонстрировали наилучшую точность при обучении, классы «строения» и «дороги» более низкую, класс «ограждения» – самую низкую. Для

повышения точности выявления ограждений внесены коррективы в исходную разметку обучающей выборки и маски данного класса сделаны большей толщины. Это позволило получить прирост точности и в выделении классов ограждений, и в распознавании участков, огороженных заборами. После доработки обучающей выборки средняя точность распознавания (F1 - score) составила 0,97 для земельных участков, 0,93 для строений и 0,80 для ограждений. (рисунок 4). Полный цикл автоматизированной идентификации зданий и объектов инфраструктуры с помощью нейронной сети (с использованием предварительно обученной модели или с полным циклом обучения) представлен на рисунке 5.

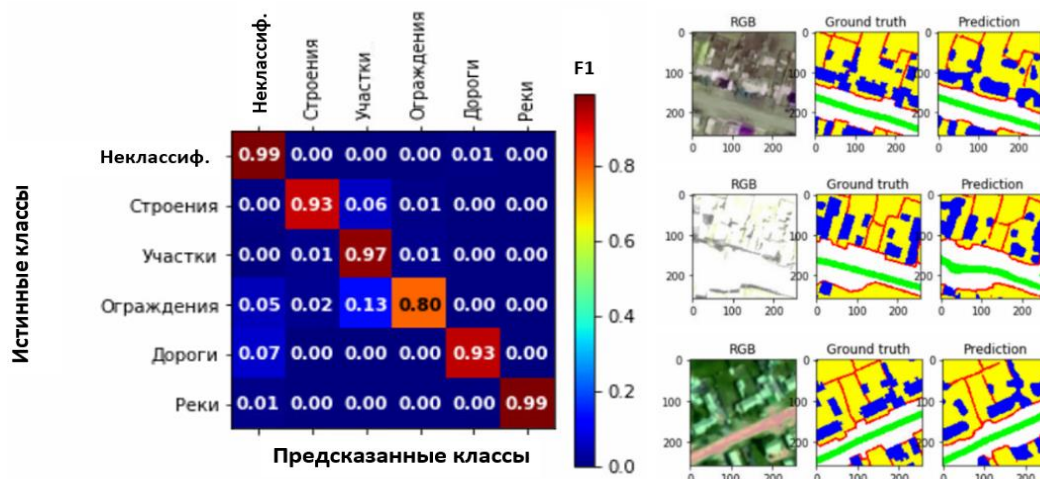


Рисунок 4 – Матрица ошибок разделения классов и сравнительные образцы работы алгоритма дешифрирования



Рисунок 5 – Структурно–логическая схема комплексирования данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА для автоматизированной идентификации зданий и объектов инфраструктуры

2. Интегральная методика геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории, в автоматизированном режиме обеспечивает весь комплекс камеральных и полевых работ по регистрации и цифровой визуализации потенциальных зон затопления и подверженных риску объектов хозяйственной инфраструктуры.

Для проведения геоэкологической оценки воздействия наводнений на локальном уровне была разработана интегральная методика, которая является результатом комплексирования данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА и автоматизированной идентификации зданий и объектов инфраструктуры с использованием алгоритмов искусственного интеллекта. Методика представляет собой не просто механическое объединение двух отдельных подходов, а качественно новый инструмент с синергетическим эффектом. Два подхода взаимодополняют друг друга и создают новое методологическое качество. Метод комплексирования данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА обеспечивает высокоточные данные о рельефе и границах затопления, но не дает информации о хозяйственном освоении территории. Метод автоматизированной идентификации зданий и объектов инфраструктуры позволяет определять строения и инфраструктуру, но без привязки к гидрологическим рискам. А интегральная методика устраняет эти ограничения, создавая комплексную геоэкологическую характеристику территории, где каждый объект застройки рассматривается через призму его уязвимости к затоплению. Интегральная методика геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории реализуется в 3 этапа, которые состоят из 7 процедур и 15 операций (таблица 1). Графическая схема методики представлена на рисунке 6.

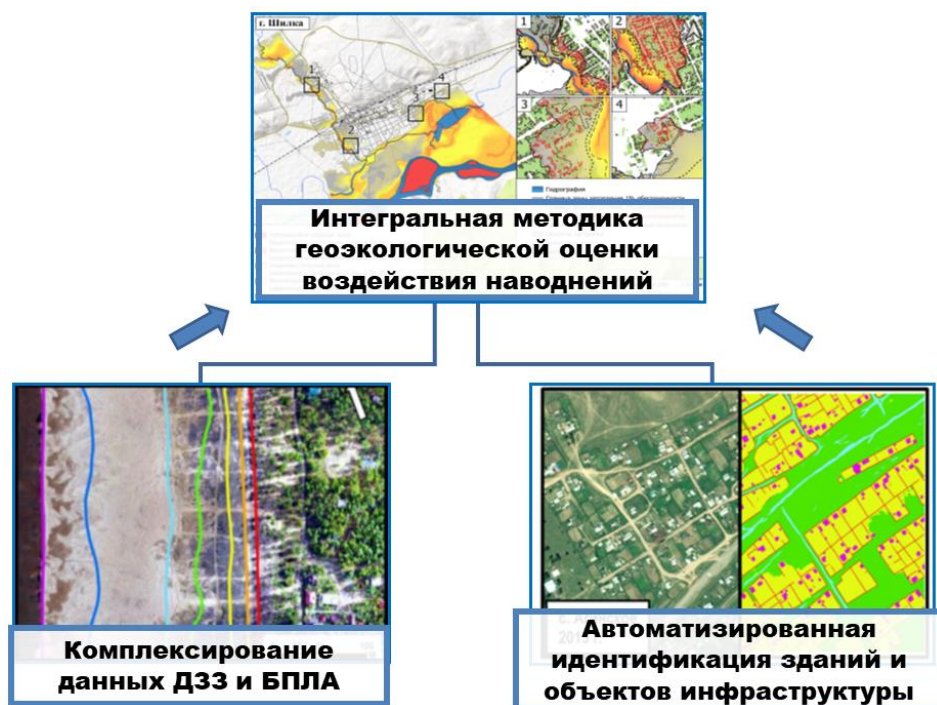


Рисунок 6 – Графическая схема интегральной методики геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории

Таблица 1 – Интегральная методика геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории

Этапы	Процедуры	Операции
1 Комплексирование данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА	1.1 Редакционно-подготовительные работы (камеральные)	1.1.1 Сбор и анализ исходных материалов (карты, данные ДЗЗ, литературные источники). 1.1.2 Изучение физико-географических, гидрологических условий и истории наводнений.
	1.2 Экспедиционные исследования (полевые)	1.2.1 Визуальное обследование территории и подготовка к съемке (установка опорных точек для БПЛА). 1.2.2 Выполнение маршрутной аэрофотосъемки с БПЛА ключевых участков.
	1.3 Построение ЦМР и моделирование границ зон затопления (камеральные)	1.3.1 Фотограмметрия. Построение ЦМР и ортофотопланов высокого разрешения на основе данных БПЛА (метод SfM). 1.3.2 Построение детализированных границ зон затопления на основе интеграции данных ДЗЗ, ЦМР и гидрологических наблюдений.
2 Автоматизированная идентификация зданий и объектов инфраструктуры	2.1 Подготовка данных и обучение модели нейронной сети (камеральные)	2.1.1 Подготовка обучающей выборки: визуальное дешифрирование и аугментация снимков высокого разрешения. 2.1.2 Обучение модели сверточной нейронной сети.
	2.2 Применение нейронной сети и пространственный анализ результатов классификации (камеральные)	2.2.1 Классификация зданий и объектов инфраструктуры на данных ДЗЗ. 2.2.2 Векторизация зданий, объектов инфраструктуры и удаление шумов. 2.2.3 Определение площадей застроенных территорий в границах зон затопления.
3 Интегральная геоэкологическая оценка воздействия наводнений	3.1 ГИС-моделирование и зонирование территории (камеральные)	3.1.1 Оверлейный анализ и создание векторных слоев объектов инфраструктуры и зон затопления в ГИС. 3.1.2 Зонирование территории по степени опасности путем создания TIN.
	3.2 Прогнозно-картографическое обеспечение (камеральные)	3.2.1 Разработка картографических материалов. 3.2.2 Определение потенциального ущерба и оценка потенциальных последствий. 3.2.3 Разработка рекомендаций для органов управления

Интегральная методика создает возможности, недоступные при применении используемых методов по отдельности. Возможна индивидуализированная оценка рисков для каждого объекта застройки с учетом его положения относительно зон различной обеспеченности затопления. Появляется возможность ретроспективной оценки, которая покажет, как менялась хозяйственная инфраструктура в зонах затопления за определенный период наблюдений (рисунок 7).



Рисунок 7 – Ретроспективный анализ паводкоопасной обстановки в населенном пункте (на примере участка в г. Шилка)

Разработанная методика обеспечивает на локальном уровне автоматизированное выполнение полного цикла камеральных и полевых работ. Это позволяет не только совместить в ГИС-среде гидрологическую опасность и антропогенную нагрузку, но и, путем оверлейного анализа и TIN-моделирования, создать серию карт зонирования территории по степени риска, уязвимости застройки и карт ретроспективной динамики освоения паводкоопасных зон. Методика создает основу для перехода к риск-ориентированному территориальному планированию и обоснованию адресных противопаводковых мероприятий, что качественно расширяет возможности географического анализа взаимодействия природных и социально-экономических систем в речных долинах.

3. Зонирование территории Забайкальского края по степени потенциальной опасности, крупномасштабного картографирования объектов хозяйственной инфраструктуры, а также определение возможных ущербов позволяет осуществить геоэкологическую оценку воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории.

Впервые для ряда населенных пунктов Забайкальского края создана серия карт с зонированием риска затопления от малоопасного до чрезвычайно опасного в пределах населенных пунктов путем интеграции данных о границах зон затопления различной обеспеченности и детального анализа антропогенной нагрузки на территорию. В результате выделены зоны четырех категорий опасности. Данные зоны созданы в соответствии с границами зон затопления 1, 3, 5 и 10 % обеспеченности гидрологической величины при помощи

интерполяции в модель триангуляционной нерегулярной сети TIN. В результате чего установлены площади опасных зон (таблица 2).

Таблица 2 – Площади зон опасности затопления

Населенные пункты	Площади зон опасности затопления (1, 3, 5, 10 % обеспеченности)				
	Чрезвычайно опасная зона, км ²	Высокоопасная зона, км ²	Умеренно опасная зона, км ²	Малоопасная зона, км ²	Общая площадь всех опасных зон, км ²
г. Шилка	6,42	8,76	2,24	6,37	23,79
г. Нерчинск	5,99	1,62	1,99	1,55	11,15
г. Сретенск	4,62	0,42	0,23	0,4	5,67
с. Улеты	2,13	0,53	0,63	1,36	4,65
г. Могоча	1,49	0,14	0,18	0,31	2,12
пгт. Чернышевск	0,46	0,22	0,19	0,14	1,01
пгт. Оловянная	0,22	0,12	0,11	0,24	0,69

Количественные показатели площадей застройки, земельных участков на территориях населенных пунктов и в зонах, подверженных затоплению, представлены в таблице 2. Полученные при помощи методики данные позволяют сделать вывод об активном индивидуальном строительстве в пределах большинства населенных пунктов (таблица 3). Данная тенденция прослеживается и на паводкоопасных территориях (рисунок 8, 9).

Таблица 3 – Площади индивидуальной застройки в паводкоопасной зоне

Населенный пункт	Год	S участков, га	S домов, га	Зона возможного затопления		
				S участков, га	Дома	
					S, га	Количество домов
пгт. Оловянная	2002	202,2	32,99	35,3	0,58	22
	2022	175,8↓	61,95↑	25,6↓	0,88↑	10↓
с. Улеты	2003	493,9	52,09	5	0	0
	2021	486,3↓	74,86↑	33,2↑	0,09↑	20↑
пгт. Чернышевск	2007	441,9	64,85	8,3	0,09	35
	2022	443,9↑	78,89↑	17,5↑	0,66↑	116↑
г. Могоча	2002	336,0	41,69	79,6	0,44	24
	2021	275,6↓	40,43↓	57	0,87↑	91↑
г. Шилка	2013	674,7	66,73	218,4	8,86	190
	2022	382,8↓	127,82↑	140,5↓	23,39↑	1621↑
г. Нерчинск	2006	555,9	97,77	5,8	0	0
	2022	392,6↓	75,55↓	1,8↓	0,07↑	9↑
г. Сретенск	2010	351,5	58,03	54,1	2,39	67
	2021	231,6↓	64,27↑	27,1↓	2,44↑	310↑

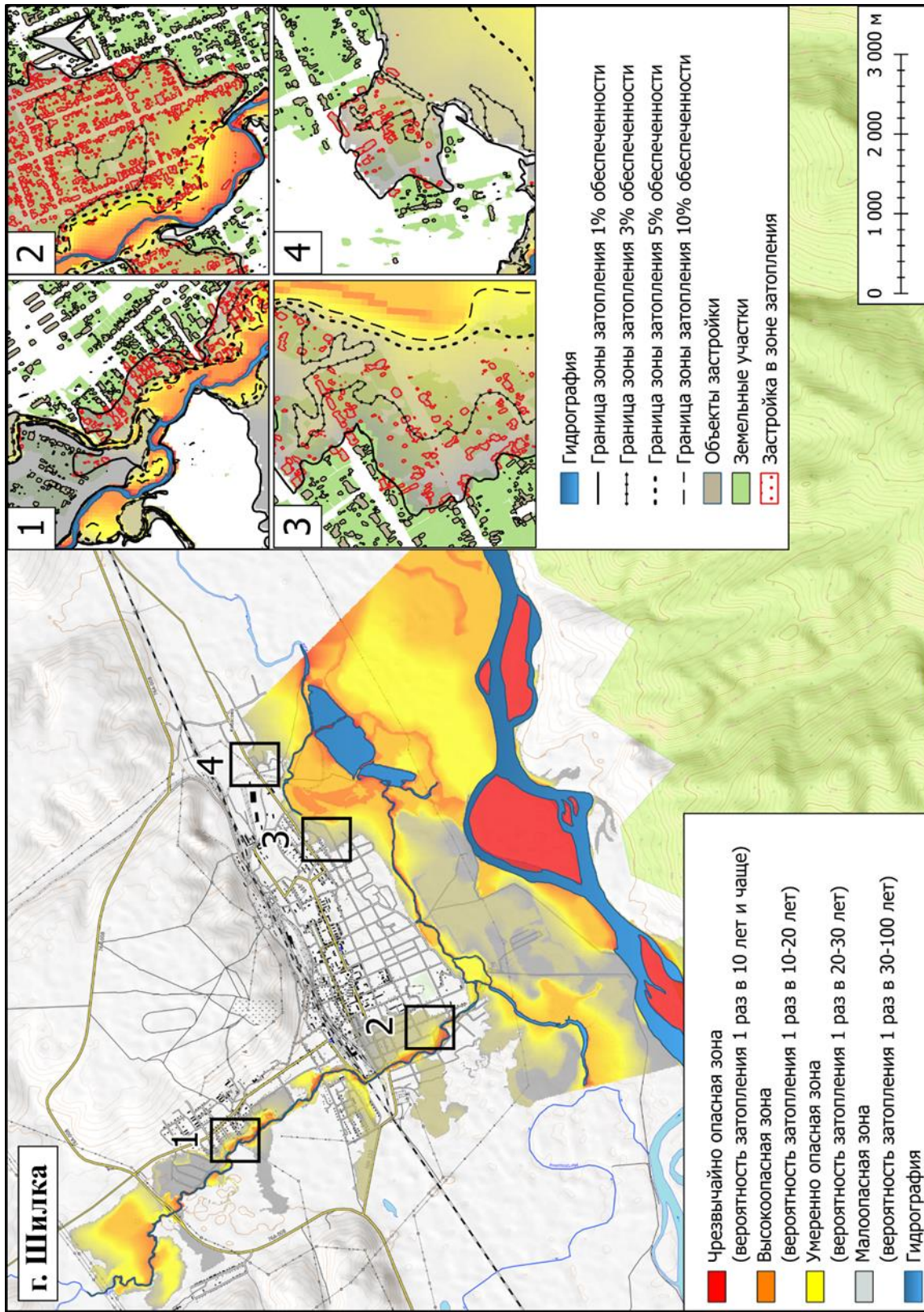


Рисунок 8 – Карта зонирования территории по степени опасности затопления на примере г. Шилка, Забайкальский край

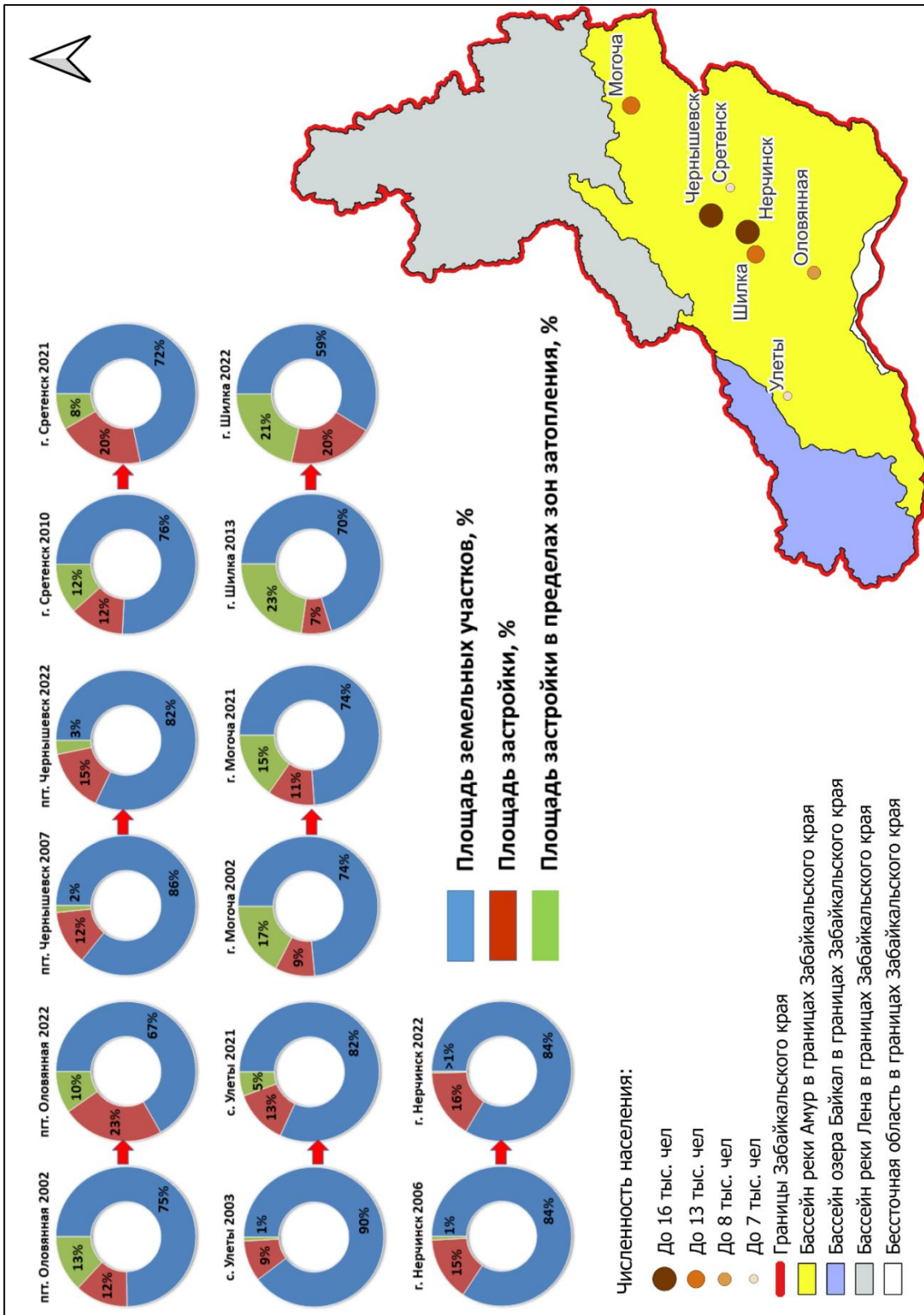


Рисунок 9 – Ретроспективный анализ площадей земельных участков, застройки и территорий в пределах зон затопления населенных пунктов

Установлены количественные и геометрические параметры зданий и объектов инфраструктуры в зонах риска для оценки потенциального воздействия наводнений (таблица 4).

Таблица 4 – Здания и объекты инфраструктуры в зоне возможного затопления

Населенный пункт	Дороги, м	Высоковольтная ЛЭП, м	Низковольтная ЛЭП, м	Здания, шт	Зона затопления, км ²
г. Шилка	40067	10169	40067	1621	23,79
г. Нерчинск	8608	3664	8608	9	11,15
г. Сретенск	15789	505	15789	310	5,67
с. Улеты	4315	0	4315	20	4,65
г. Могоча	2209	0	2209	91	2,12
пгт. Чернышевск	1113	0	1113	116	1,01
пгт. Оловянная	4300	0	4300	10	0,69

В целях обеспечения долгосрочного и оперативного контроля сформирована пространственная сеть ключевых мониторинговых участков на паводкоопасных территориях для выявления изменений в процессе их хозяйственного освоения с использованием данных ДЗЗ.

Установлены пространственные и количественные параметры объектов инфраструктуры в зонах риска для количественной оценки потенциального воздействия наводнений. Определены протяженность подверженных затоплению участков автомобильных дорог и линий электропередач, площади и количество объектов жилой застройки, а также оценена численность проживающего в опасных зонах населения. Полученные количественные показатели формируют базу для расчета потенциального материального ущерба и социальных потерь.

Применение методики возможно и при отсутствии гидрологических данных. Использование доступных данных ДЗЗ по исследуемой территории позволяет осуществлять геоэкологическую оценку без зонирования территорий по фактическим границам затопления. Это позволяет оперативно в автоматизированном режиме определять площадь затопления, а также количество зданий и объектов инфраструктуры, подверженных наводнению. Выполнена апробация интегральной методики геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории в различных физико–географических условиях РФ.

Выполнено типологическое районирование территорий по степени опасности наводнений на региональном уровне по совокупности показателей уровня природной опасности наводнений и социально–экономической уязвимости. Рассматривались следующие факторы: численность населения в зонах затопления, сельскохозяйственная освоенность и плотность транспортных коммуникаций в разрезе муниципальных округов (районов).

На основании экспертных оценок установлено, что территории Забайкальского края подвержены пяти уровням социально-экономической опасности:

- 1) чрезвычайно высокая опасность (Агинский, Карымский, Нерчинский, Улетовский, Хилокский, Читинский, Шилкинский);
- 2) очень высокая опасность (Акшинский, Бaleyский, Газимуро–Заводский, Дульдургинский, Каларский, Красночикойский, Оловянинский, Петровск–Забайкальский, Сретенский);
- 3) высокая опасность (Александрово–Заводский, Борзинский, Нерчинско–Заводский, Тунгокоченский, Чернышевский, Шелопугинский);
- 4) средняя опасность (Забайкальский, Калганский, Краснокаменский, Кыринский, Могойтуйский, Могочинский, Приаргунский);
- 5) незначительная опасность (Тунгиро–Олекминский).

Установлено, что в регионе отсутствуют территории с низкой степенью опасности наводнений, что подтверждает актуальность проблемы наводнений для всех районов Забайкальского края (рисунок 10).

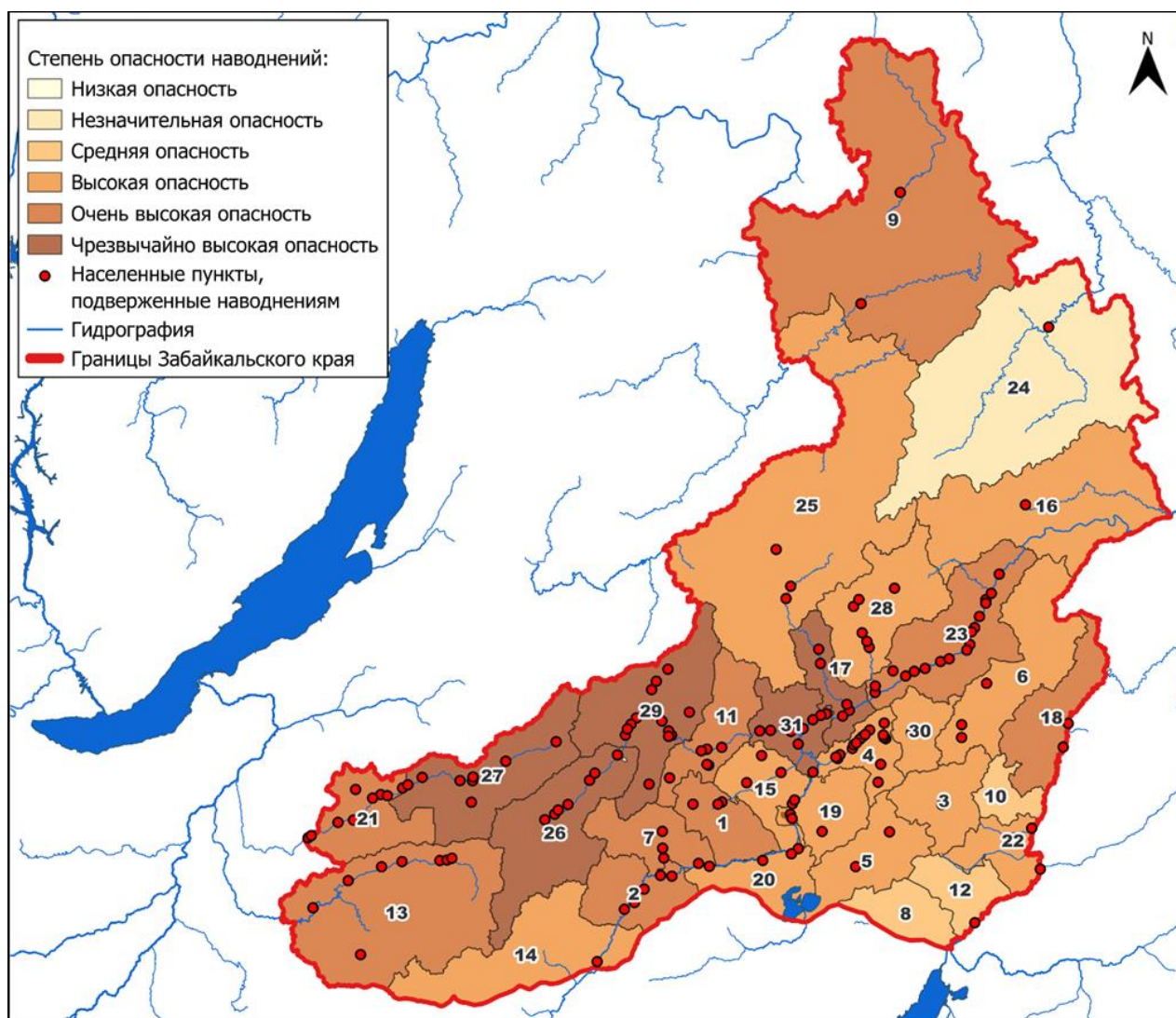


Рисунок 10 – Карта типологического районирования территории Забайкальского края по степени опасности наводнений (составлена автором)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертация является комплексной исследовательской работой, в которой, на основании выполненных теоретических и экспериментальных исследований, изложены новые научно обоснованные технологические решения по предупреждению и минимизации рисков чрезвычайных ситуаций гидрологического характера, снижающие негативные социально–экономические последствия, имеющие существенное значение для развития страны.

Основные научные и практические результаты заключаются в следующем:

1. Разработан алгоритм комплексирования данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА для определения территорий, подверженных наводнениям и регистрации зон затопления.

Комплексирование данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА для определения территорий, подверженных наводнениям, позволяет уточнять и актуализировать границы зон затопления населенных пунктов с высокой метрической точностью.

2. Создана компьютерная программа для автоматизированного дешифрирования хозяйственно освоенных территорий, основанная на алгоритмах искусственного интеллекта.

Использование программы обеспечивает оперативную и эффективную регистрацию, цифровую визуализацию зданий и объектов инфраструктуры на территориях, подверженных наводнениям, а также снижает уровень субъективизма и трудозатраты рабочего процесса.

3. Разработана интегральная методика геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории, основанная на комплексировании многолетних статистических данных, данных ДЗЗ из космоса и с БПЛА, алгоритмов искусственного интеллекта для определения потенциальных зон затопления и подверженных риску объектов хозяйственной инфраструктуры.

Методика, в автоматизированном режиме, обеспечивает весь комплекс камеральных и полевых работ от создания геоданных до составления итоговых инвентаризационных и аналитических карт.

4. Организована пространственная сеть ключевых мониторинговых участков на урбанизированных территориях для непрерывного наблюдения опасных гидрологических явлений и процессов.

Сеть ключевых мониторинговых участков охватывает ареалы потенциального гидрологического риска и позволяет оперативно отслеживать нарушения режима землепользования и появление новых объектов инфраструктуры, а также оценивать эффективность принимаемых мероприятий и решений по хозяйственному использованию паводкоопасных территорий.

5. Выполнено типологическое районирование территории Забайкальского края по степени опасности наводнений.

Типологическое районирование дифференцирует территорию края по схожим физико–географическим условиям, благоприятствующим

формированию и развитию наводнений, может быть использовано для территориального управления и планирования.

6. Составлена серия геоэкологических карт зонирования урбанизированной территории по степени гидрологической опасности и потенциальной уязвимости хозяйственной инфраструктуры.

Серия карт является высокоточным базовым картографическим документом для организации территориальной деятельности.

7. Выявлены паводкоопасные участки городской среды, определены ущербы для отдельных видов хозяйственной инфраструктуры, требующие особого внимания органов управления и планирования.

8. Выполнена апробация интегральной методики геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории в различных физико–географических условиях РФ.

Апробация разработанной интегральной методики геоэкологической оценки позволяет учесть ряд важных факторов при планировании рационального использования паводкоопасных территорий, что в свою очередь способствует повышению качества жизни в регионе. Полученные карты хозяйственной освоенности паводкоопасных зон крупного пространственного масштаба рекомендуется использовать в работе органов государственной власти в области охраны водных ресурсов и ликвидации стихийных бедствий.

Использованные в работе сверточные нейронные сети, в перспективе могут найти применение для изучения других процессов на высокодетальном уровне, таких как динамика растительности и лесовосстановление после пожаров. Таким образом, применение современных методов машинного обучения и обработки данных ДЗЗ способствует более эффективному управлению водными ресурсами и снижению рисков, связанных с опасными природными явлениями.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях, включенных в Перечень ВАК, и в изданиях, индексируемых RSCI/Scopus:

1. **Кочев Д.В.** Геоэкологическое картографирование и оценка хозяйственно освоенных территорий Забайкальского края, подверженных наводнениям // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2024. – Т. 6, № 4. – С. 387–398.

2. **Кочев Д.В.** Геоэкологическое картирование селитебных территорий Забайкальского края с использованием свёрточной нейронной сети // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2024. – Т. 30, № 3. – С. 27– 37.

3. **Кочев Д.В.** Геоэкологическое картирование застройки на паводкоопасных территориях городов Шилки и Нерчинска Забайкальского края с использованием спектрального индекса NDBI и нейронной сети // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2024. – Т. 30, № 1. – С. 28–39.

4. **Кочев Д.В.**, Шумилова Л.В. Применение спектральных водных индексов на хвостовом хозяйстве Дарасунского рудника по данным дистанционного зондирования Земли программы Landsat // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2023. – Т. 29, № 2. – С. 45–60.

5. Курганович К.А., **Кочев Д.В.**, Босов М.А. Использование гибридного метода совместного анализа данных спутникового зондирования Landsat и беспилотных летательных аппаратов для реконструкции уровней воды и объёмов водной массы в водоёмах (на примере оз. Арахлей Забайкальского края) // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2022. – Т. 28, № 1. – С. 368–382.

6. Курганович К.А., Шаликовский А.В., Босов М.А., **Кочев Д.В.** Применение алгоритмов искусственного интеллекта для контроля паводкоопасных территорий // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2021. – № 3. – С. 6–24.

Программа для ЭВМ:

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024618101 Российская Федерация. Программа для дешифрирования объектов застройки на аэрофотоснимках и спутниковых снимках высокого пространственного разрешения: № 2024616752: заявл. 01.04.2024 : опубл. 09.04.2024 / **Д.В. Кочев**, К.А. Курганович; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Забайкальский государственный университет».

Прочие публикации:

8. Курганович К.А., Шаликовский А.В., Босов М.А., **Кочев Д.В.** Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга состояния бесхозяйных противопаводковых гидротехнических сооружений Забайкальского края // Гидросфера. Опасные процессы и явления. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 32–43.

9. **Кочев Д.В.**, Курганович К.А. Геоэкологическое картирование объектов застройки на территориях, подверженных наводнениям // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 ч., Чита, 25–29 нояб. 2024 г. – Чита : Забайкал. гос. ун-т, 2024. – С. 39–45.

10. Курганович К.А., Шаликовский А.В., **Кочев Д.В.** Топологически нормализованная цифровая модель рельефа Height Above the Nearest Drainage (HAND) и её использование для картографирования паводкоопасных зон населённых пунктов // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : материалы XXIV Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 ч., Чита, 25–29 нояб. 2024 г. – Чита : Забайкал. гос. ун-т, 2024. – С. 45–48.

11. Курганович К.А., Шаликовский А.В., **Кочев Д.В.** Использование топологически нормализованной цифровой модели рельефа HAND для картографирования зон затоплений // Эволюция биосферы и техногенез : материалы IV Всерос. конф., посвящ. 300-летию РАН, 300-летию первой науч. экспедиции под рук. Д.Г. Мессершмидта в Забайкалье, Чита, 05–09 авг. 2024 г. – Чита : Ин-т природ. ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2024. – С. 62.

12. Шаликовский А.В., Курганович К.А., **Кочев Д.В.** Природные и антропогенные причины катастрофического наводнения в городе Орске в апреле 2024 года // Водное хозяйство, экологическая и промышленная безопасность : материалы Всерос. науч.-практ. конф., Чита, 13–14 мая 2024 г. – Чита : Забайкал. гос. ун-т, 2024. – С. 24–27.

13. **Кочев Д.В.** Возможность использования радарных данных для анализа территорий, подверженных опасным гидрометеорологическим процессам // Кулагинские чтения: техника и технологии производственных процессов : материалы XXII Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч., Чита, 28 нояб. – 02 дек. 2022 г. Ч. 1. – Чита : Забайкал. гос. ун-т, 2022. – С. 7–13.

14. **Кочев Д.В.**, Курганович К.А. Использование данных дистанционного зондирования и алгоритмов искусственного интеллекта для анализа территорий, подверженных наводнениям // Эволюция биосферы и техногенез : материалы Всерос. конф. с междунар. участием, Чита, 30 авг. – 01 сент. 2021 г. – Чита : Ин-т природ. ресурсов, экологии и криологии СО РАН, 2022. – С. 304–307.

15. Курганович К.А., Шаликовский А.В., Босов М.А., **Кочев Д.В.** Опыт использования современных средств дистанционного зондирования в мониторинге бесхозяйных гидротехнических сооружений Забайкальского края // Чистая вода России-2021 : сб. материалов XVI Междунар. науч.-практ. симпозиума и выставки, Екатеринбург, 17–20 мая 2021 г. – Екатеринбург : ООО «ДжиЛайм», 2021. – С. 94–97.

16. Курганович К.А., Зима Л.Н., Маслова А.В., Манилюк Т.А., **Кочев Д.В.** Динамика использования паводкоопасных территорий посёлка Агинское Забайкальского края по данным дистанционного зондирования с использованием спектральных индексов застройки // Водные ресурсы и водопользование : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Чита, 21–22 мая 2020 г. – Чита : Забайкал. гос. ун-т, 2020. – С. 17–26.

17. **Кочев Д.В.**, Курганович К.А. Гибридный метод анализа данных дистанционного зондирования Земли беспилотных летательных аппаратов с целью картографирования территорий, подверженных наводнениям // Eurasia Green : тез. докл. XI Междунар. конкурса науч.-исслед. проектов молодых учёных и студентов, Екатеринбург, 13 мая 2020 г. / отв. за вып. Г.Ю. Пахальчак, М.Б. Видревич. – Екатеринбург : Урал. гос. экон. ун-т, 2020. – С. 43–47.

18. Курганович К.А., **Кочев Д.В.** Гибридный метод анализа данных дистанционного зондирования Земли и беспилотных летательных аппаратов с целью картографирования территорий, подверженных наводнениям / К. А. Курганович, Д.В. Кочев // Чистая вода России: материалы XV Междунар. науч.–практ. симп. и выставки (г. Екатеринбург, 23–27 сент. 2019 г.). – Екатеринбург, 2019. – С. 582–602.

ОГЛАВЛЕНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Введение

Глава 1 Современная геоэкологическая обстановка на паводкоопасных территориях

1.1 Глобальная паводкоопасная обстановка в условиях урбанизации и изменения климата

1.2 Физико–географические и гидрологические характеристики Забайкальского края

1.3 Оценка паводкоопасной обстановки и ущерба от наводнений в Забайкальском крае

Выводы по главе 1

Глава 2 Современные данные, технологии и программные алгоритмы для геоэкологической оценки паводкоопасных территорий

2.1 Современные данные ДЗЗ для регистрации затопляемых территорий

2.2 Современные технологии и алгоритмы использования данных ДЗЗ для геоэкологической оценки хозяйственно освоенных территорий

2.3 Программно–технические особенности комплексирования данных ДЗЗ и материалов полевых работ на объектах исследования

Выводы по главе 2

Глава 3 Использование алгоритмов искусственного интеллекта для идентификации хозяйственно освоенных территорий

3.1 Разработка компьютерной программы для идентификации объектов хозяйственной инфраструктуры по комплексированным данным ДЗЗ из космоса и с БПЛА на основе сверточной нейронной сети

3.2 Оценка эффективности, качества и производительности параметров программы и используемых модулей

3.3 Разработка интегральной методики геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории

Выводы по главе 3

Глава 4 Геоэкологическая оценка воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории

4.1 Регистрация зон затопления на хозяйственно освоенных территориях

4.2 Типологическое районирование территории Забайкальского края по степени опасности наводнений

4.3 Геоэкологическое картографирование воздействия наводнений на урбанизированные территории

4.4 Апробация интегральной методики геоэкологической оценки воздействия наводнений на хозяйственно освоенные территории в различных физико–географических условиях РФ

Выводы по главе 4

Заключение

Список сокращений и условных обозначений

Список литературы

Приложения

Подписано в печать 23.06.2026
Формат бумаги 60×84/16
Бумага ксерографическая. Способ печати цифровой
Гарнитура Times New Roman
Усл. печ. л. 1,2. Уч.-изд. л. 1,2
Заказ № 26021. Тираж 100 экз.

ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет»
672039, г. Чита, ул. Александро-Заводская, 30