

Разработка методики и алгоритмов обработки данных ДЗЗ для оценки рисков затопления территорий

Л. Е. Долгобородов, главный конструктор проектов, *dolgoborodov_le@spacecorp-rkd.ru*
АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

И. В. Савосин, к. воен. н., с. н. с., *savosin_iv@spacecorp-rkd.ru*
АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлены методика и результаты работ по расчету зон затопления различной обеспеченности на примере территории Амурской области. Разработанная методика позволяет проводить расчеты на больших территориях. Используются информация гидрологических постов, космическая съемка, цифровые модели местности. Реализованы алгоритмы параллельной обработки и многоядерная организация вычислений, ускоряющие проведение расчетов в сотни и тысячи раз по сравнению с существующими алгоритмами в географических информационных системах ArcGIS, QGIS/GRASS/SAGA. Полученные расчеты позволяют оценить риски затопления объектов при решении различных задач — проектировании мер защиты от наводнений, определении ограничений строительства, страховании объектов недвижимости и земель, прогнозировании ущерба от наводнений и других.

Ключевые слова: зоны затопления, методика, алгоритмы параллельной обработки, гидрологические посты, цифровые модели местности, данные ДЗЗ, геоинформационные системы

Development of Methods and Algorithms for Processing Earth Remote Sensing Data for Flood Risk Evaluation

L. E. Dolgoborodov, chief project designer, *dolgoborodov_le@spacecorp-rkd.ru*
Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

I. V. Savosin, Cand. Sci. (Mil.), senior researcher, *savosin_iv@spacecorp-rkd.ru*
Joint Stock Company “Russian Space Systems”, Moscow, Russian Federation

Abstract. The article presents the methodology and results of calculating flood zones with varying coverage for the territory of the Amur region. The developed methodology allows one to perform calculations for vast territories. Information from hydrological gauges, satellite imagery, and digital terrain models are used. Algorithms for parallel processing and multi-core computations, which accelerate calculations by hundreds and thousands of times in comparison with existing algorithms of the ArcGIS, QGIS/GRASS/SAGA geographic information systems, are implemented. The use of the obtained estimates allows us to evaluate the risks of flooding of objects when solving various tasks, i.e. for designing flood protection measures, determining construction restrictions, insuring real estate and land, predicting flood damage and others.

Keywords: flooding zones, methodology, parallel processing, gauging stations, digital terrain models, remote sensing data, geographic information systems

В Российской Федерации наводнения, наряду с пожарами, занимают одно из первых мест по своей разрушительной силе, экономическим и социальным последствиям.

Учитывая значимость проблемы, в АО «Российские космические системы» ведется разработка информационно-аналитической системы, алгоритмов и программ мониторинга и анализа речных наводнений на основе спутниковой информации [1, 2].

Для этих исследований разработана методика и выполнены работы по определению вероятностных зон затоплений на примере территории Амурской области (бассейны рек Амур, Зея, Бурея и др.). С использованием многолетних гидрологических наблюдений и данных космической съемки были рассчитаны зоны возможных затоплений в период сезонных наводнений.

На практике для расчета зон затоплений используются утвержденные методики [3–5]. Такие работы преимущественно выполняются на территориях, прилегающих к населенным пунктам, в которых расположены гидропосты. Фактически работы по определению вероятных зон затоплений в силу крайне высокой трудоемкости и стоимости инженерно-гидрологических расчетов не затрагивают территорий малых населенных пунктов и межселенных территорий (например, садовых участков, сельскохозяйственных угодий, территорий линейных объектов — дорог, трубопроводов и т. п.).

Специалистами АО «Российские космические системы» на основе открытой информации гидрологических постов наблюдательной сети Росгидромета [6] и спутниковых данных разработана методика, позволяющая выполнять расчеты зон затоплений по всей территории региона (субъекта России), включая территории малых населенных пунктов и межселенные территории.

Расчеты зон затопления включают следующие этапы:

- подготовка исходных данных;
- построение гидрографической сети (контуров водных объектов);
- создание модели рельефа на основе модели местности;
- расчет гидрологической модели;
- расчет зон затопления;

- проверка расчетов по данным космической съемки и данным внешних источников;
- загрузка результатов расчетов в базу данных.

Основные исходные данные, используемые для создания зон затопления:

- гидрологические данные;
- картографические материалы;
- цифровые модели местности (ЦММ);
- данные дистанционного зондирования Земли;
- дополнительные исходные данные, в том числе схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО).

Гидрологические данные включают перечень и характеристики гидрологических постов гидрометеорологической сети наблюдений, данные наблюдений за уровнем воды и измеренные расходы воды в створе этих гидропостов. Гидрологические данные по гидропостам могут храниться как таблицы в СУБД PostgreSQL.

В гидрологической модели на долговременных рядах наблюдений гидропостов выполняется расчет уровней воды 1 %, 5 %, 10 %, 20 %, 50 % обеспеченности, что соответствует вероятности события один раз в 100, 20, 10, 5 лет и 2 года.

В методике используется цифровая модель местности (ЦММ), создаваемая по данным космической съемки, полученным с различных спутников. Для проведения расчетов подготовлена цифровая модель рельефа (ЦМР) в растровом формате GeoTIFF. Цифровая модель рельефа на территорию интереса создается на основе цифровых моделей местности по данным Роскосмоса, SRTM, ALOS, ArcticDEM.

В качестве базовой используется ЦММ, построенная по данным космического аппарата ALOS (Япония), приведенная к разрешению 10 м в плане. Пропуски в этой модели, особенно в северных широтах, заполняются данными других моделей. Построенная цифровая модель местности позволяет различать дома, сооружения, границы поймы водотоков.

Для гидрологических расчетов необходимо сглаживание и устранение шумов ЦММ. Сглаживание необходимо выполнять с учетом расчлененности рельефа, т. е. необходимо большее сглаживание в поймах рек и меньшее на пересеченной

местности. Также для гидрологических расчетов (зон затоплений) необходимо сделать специальную фильтрацию и гидрологическую коррекцию ЦММ.

В составе географических информационных систем ArcGIS, QGIS/GRASS/SAGA и других представлен достаточно широкий набор модулей для гидрологических расчетов по ЦММ.

Размер бассейна реки Амур составляет 3000×1000 км. Практические расчеты с использованием традиционных алгоритмов для цифровых моделей местности таких обширных территорий требуют огромных вычислительных ресурсов и больших временных затрат.

Разработанные специалистами АО «Российские космические системы» алгоритмы позволяют осуществлять параллельную обработку данных с использованием высокопроизводительных вычислительных комплексов. Определение зон затоплений проводилось специальными программами, автоматизирующими обработку больших объемов данных. Разработанные вычислительные программы выполняют:

- фильтрацию шумов ЦММ и сглаживание рельефа;
- гидрологическую коррекцию ЦММ;
- построение поля направлений стока;
- построение поля аккумуляции стока;
- построение гидросети;
- построение суббассейнов рек;
- определение параметров гидрологической модели по данным гидропостов;
- расчет вероятных зон затоплений по гидрологической модели на всей территории бассейна реки.

Алгоритмы предусматривают расчеты на пуле мультипроцессорных серверов. Для выполнения вычислений были задействованы серверные мощности центра обработки данных (ЦОД) АО «Российские космические системы».

Реализация алгоритмов параллельной обработки и многоядерная организация вычислений ускорили проведение расчетов в сотни и тысячи раз в сравнении с существующими алгоритмами в географических информационных системах ArcGIS, QGIS/GRASS/SAGA.

Например, по разработанным алгоритмам время фильтрации ЦММ размером $25\,000 \times 17\,000$ пикселей, включающей многостадийное определение параметров ЦММ (определение среднего значения, среднеквадратичного отклонения от среднего, фильтрация шумов и сглаживание с обработкой каждой точки изображения до 20 раз), составляет около 15 минут.

Фильтрация ЦММ размером $25\,000 \times 17\,000$ пикселей традиционным алгоритмом Mesh denoise (SAGA) практически невозможна, так как ожидаемое время расчетов составляет несколько дней.

Расчет зон затоплений выполняется для различных участков территории в зависимости от наличия исходных и расчетных гидрологических данных.

В окрестности гидропоста (расстояния до 5–10 км) расчет зон затоплений выполняется по уровням заданной обеспеченности, рассчитанным по временным рядам наблюдений на гидропосте. Зона затоплений в окрестности гидропоста рассчитывается по подготовленному рельефу с учетом уклона реки в точке гидропоста.

На территории по длине водотока между гидропостами (расстояния 100–200 км, разбитые на участки 5–10 км) расчет зон затоплений выполняется по подготовленному рельефу с учетом уклона реки в точках построенной гидросети, по уровням заданной обеспеченности, рассчитанным в этих точках, путем интерполяции данных на узлы гидросети с учетом расхода в створах и площади бассейна стока.

На территории по длине притоков, вне областей расчета параметров гидросети, зона возможных затоплений рассчитывается по параметрам рельефа путем экстраполяции данных в узлах гидросети по длине притока. Зоны возможных затоплений рассчитываются как зоны с высотой, превышающей уровень воды над уровнем выхода на пойму, в пределах территорий с высотами рельефа меньше порогового значения.

В расчетах используются вычислительные методы многоклассовой классификации (распознавание с обучением). В качестве обучающей выборки для распознавания используются рассчитанные зоны затоплений вокруг гидропостов и в точках между гидропостами (размером 5–10 км в зависимости от величины стока водного объекта). Площадь

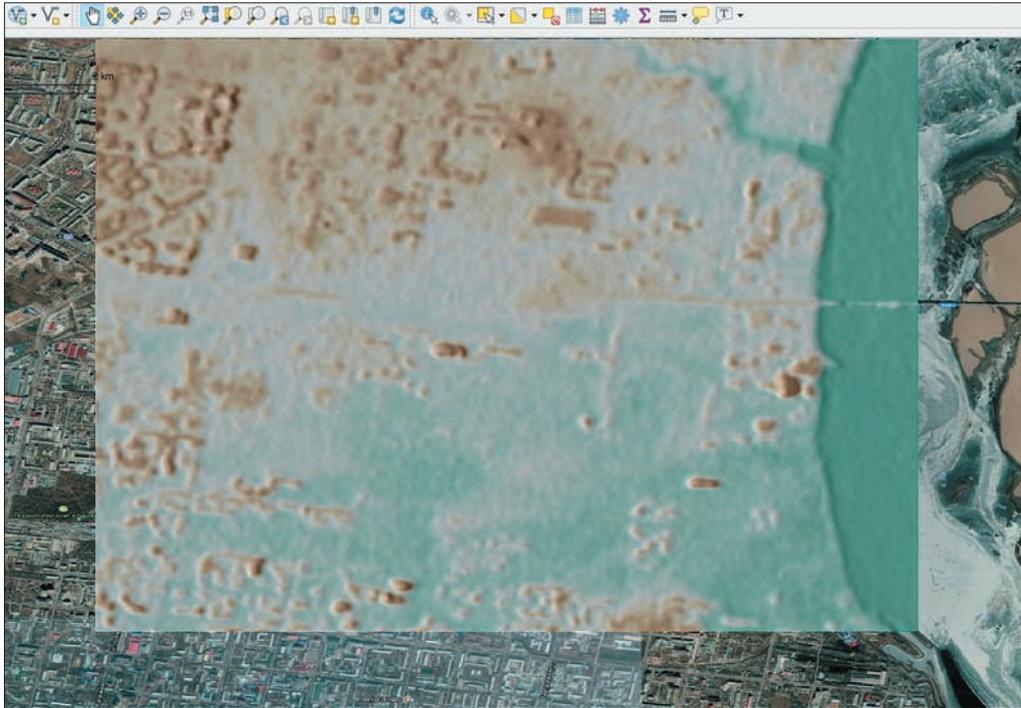


Рис. 1. Фрагмент построенной цифровой модели местности

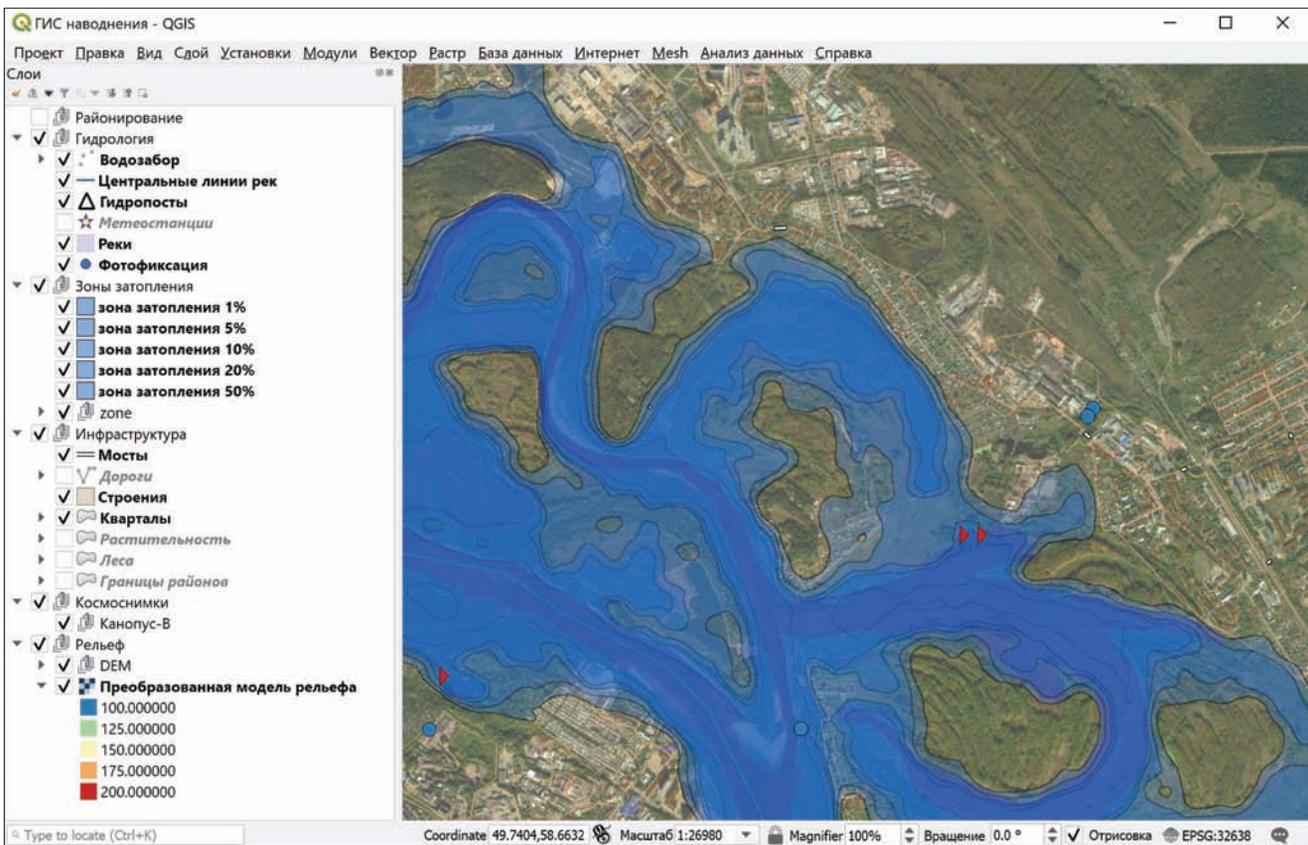


Рис. 2. Рассчитанные зоны затоплений для заданной обеспеченности

обучающей выборки рекомендуется не менее 2% от площади всех затопляемых территорий.

Проверка расчетов проводится по данным космической съемки в периоды реальных наводнений и данным внешних источников.

Проверка расчетов по данным космической съемки включает сравнение (расчет коэффициента корреляции) фактических зон затопления, полученных по результатам обработки космических снимков, и рассчитанных зон затоплений по данным гидропостов на дату съемки. В расчете учитывается время съемки (время получения фактических данных) и среднесуточные данные по гидропостам. Данные космической съемки подбираются максимально близкие к датам наивысших уровней в период наводнений.

Кроме того, космические снимки используются для:

- уточнения контуров водных объектов в межень (при значительных расхождениях контуров водных объектов, полученных с карт);

- определения поправок высот рельефа для приведения гидрологических данных, хранящихся в Балтийской системе высот, к системе WGS-84, в которой представлены ЦММ (путем корреляции набора фактических и расчетных данных).

Обработка снимков проводится специально написанными программами на языке python.

На территории регионов России, где выполнено Постановление Правительства Российской Федерации от 18 апреля 2014 г. № 360 «Об определении границ зон затопления, подтопления», расчеты необходимо сравнить с данными о нормативных зонах затоплений, определенными в пределах территорий населенных пунктов как результат исполнения этого Постановления — оценить совпадение контуров зон затоплений и попадание объектов в зону затоплений, получить коэффициенты корреляции при уровнях заданной обеспеченности.

Разработанные алгоритмы позволили выполнить расчеты зон затоплений по всей территории региона.

Конечным результатом работы алгоритмов являются контуры зон затоплений на всей террито-

рии бассейна реки для уровней воды 1%, 5%, 10%, 20%, 50% обеспеченности, что соответствует наводнениям, случающимся 1, 5, 10, 20 и 50 раз в 100 лет соответственно.

Рассчитанные зоны затоплений могут храниться как записи в СУБД PostgreSQL с расширением Postgis.

Отображение исходных данных и результатов расчета производится в геоинформационной системе QGIS/GRASS (рис. 1, 2).

Полученные результаты расчета вероятных зон затоплений в поймах рек могут использоваться для решения таких задач, как оценка вероятности попадания различных объектов в зоны затопления, прогнозирование ущерба от наводнений, проектирование мер защиты от наводнений, определение ограничений строительства, страхование объектов недвижимости и земель.

Список литературы

1. Долгобородов Л. Е., Савосин И. В. Информационно-аналитическая система мониторинга наводнений на основе спутниковой информации // Дистанционное зондирование Земли из космоса в России, 2018, № 1. С. 68–73.
2. Жиганов А. Н., Долгобородов Л. Е., Савосин И. В. Алгоритмы решения задач мониторинга наводнений на основе мульти- и гиперспектральных данных с космических аппаратов «Ресурс-П» и «Канопус-В» // Космонавтика и ракетостроение, 2017, вып. 99. С. 121–128.
3. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.
4. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. ГГИ. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 448 с.
5. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. СПб.: Нестор-История, 2009. 193 с.
6. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО). <https://gmvo.skniivh.ru> (Дата обращения 21.11.2019).