

**Б. А. Новаковский** (МГУ им. М. В. Ломоносова)

В 1961 г. окончил геодезический факультет Львовского политехнического института (ЛПИ), по специальности «аэрофотогеодезия». В настоящее время — заведующий учебно-научной лабораторией цифровой картографии и фотограмметрии кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Профессор, доктор географических наук.

**О. Н. Колесникова** (Компания «Совзонд»)

В 2001 г. окончила Московский государственный университет природообустройства. После окончания университета работает в компании «Совзонд», в настоящее время — руководитель направления комплексных проектов.

**А. И. Прасолова** (МГУ им. М. В. Ломоносова)

В 1998 г. окончила географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова. В настоящее время — доцент кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова. Кандидат географических наук.

**Р. В. Пермяков** (МГУ им. М. В. Ломоносова)

В 2012 году окончил географический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова. В настоящее время — аспирант кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова.

## Геоинформационный анализ последствий катастрофических наводнений по материалам ДЗЗ

Принято считать, что прогнозирование наводнений и других опасных природных явлений сопряжено с применением сложных аналитических формул и обработкой большого количества статистических данных: метеорологических, гидрологических, гидромеханических, теплофизических.

Для прогноза распределения стока в период паводка используют графоаналитические методы (методы единичного паводка и кривых добегаания), а также математические модели (модель формирования талого, дождевого и тало-дождевого стока) [3]. Однако даже самый точный прогноз на практике может столкнуться с непредвиденными погодными условиями: аномальным количеством осадков, экстремально высокими или экстремально низкими температурами. В таком случае на первый план выходит не прогнозирование наводнения, а моделирование движения воды и его последствий при текущем развитии событий.

Достаточным инструментарием для решения подобного рода задач обладают ГИС-пакеты — аппаратно-программные комплексы, обеспечивающие сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию информации и знаний о территории [2]. В отличие от сложных методик математического моделирования ГИС-пакеты позволяют создавать модели областей затопления достаточно просто. В рамках данного исследования была поставлена цель с помощью геоинформационных технологий смоделировать наводнение, случившееся в Алтайском крае в мае-июне 2014 года, и его последствия. Исследования выполнены в рамках работ по гранту Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (НШ-2248.2014.5).

В соответствии с методикой, суть которой изложена в работах [5, 6], источником данных для моделирования областей затопления в ГИС могут успешно служить цифровые модели

рельефа (ЦМР), полученные фотограмметрическим способом по материалам дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Среди всего многообразие данных ДЗЗ в настоящее время все большую роль играют космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения. Затраты на их приобретение существенно ниже стоимости проведения наземных геодезических работ и организации аэросъемки, а детальности достаточно для создания качественных ЦМР, крупномасштабных ортофотопланов и карт.

Для создания ЦМР фотограмметрическая обработка материалов дистанционного зондирования применяется уже достаточно давно и успешно. Извлечение данных о рельефе в цифровой фотограмметрической системе (ЦФС) может производиться как в автоматическом, так и в ручном режиме, с использованием специальных средств стереообработки: зеркальных или высокочастотных мониторов, анаглифических, затворных или поляризованных очков [4].

Методика геоинформационного моделирования наводнений с применением фотограмметрических технологий уже рассматривалась авторами на примере Благовещенска и Крымска [5, 6]. В качестве основных последствий наводнений нами были выделены материальный ущерб и ущерб для населения. Материальный ущерб может выражаться как в площади затопленной территории, так и в числе затопленных строений и объектов инфраструктуры: железных и автомобильных дорог, разрушенных тоннелей, мостов, эстакад. Ущерб для населения — это, прежде всего, число людей, погибших и пострадавших в результате паводка, оставшихся без крова или эвакуированных из района наводнения [5].

В мае-июне 2014 года в Алтайском крае произошло наводнение, относящееся по своим последствиям к категории опасных. Причиной наводнения стали длительные дожди в предгорных районах Алтая. По предварительным оценкам суммарный ущерб от наводне-

ния составил 4 млрд. 482 млн руб., пострадало 38 619 человек, подтопленными оказались 2988 жилых домов. В ликвидации последствий приняло участие более 1100 человек и 422 единицы техники [7].

Для моделирования наводнения была выбрана территория Алтайского края в районе города Бийск, который располагается на обоих берегах реки Бия. Для построения ЦМР использовалась стереопара космических снимков высокого разрешения, полученных в мае 2014 года (снимки получены компанией «Совзонд»).

Обработка стереопары реализована в ЦФС PHOTOMOD 6.0 — полной 64-битной версии системы цифровой фотограмметрии.

Пространственная привязка снимков, обеспечиваемая коэффициентами рациональных полиномов (RPC — rational polynomial coefficients), уточнена опорными точками, координаты которых определены по топографической карте масштаба 1: 25 000.

Уравнивание стереопары обеспечило среднеквадратическую ошибку  $\pm 1,53$  м в плане и  $\pm 1,16$  м по высоте. Такой точности уравнивания, согласно инструкции по фотограмметрическим работам, достаточно для создания топографических карт масштаба 1: 25 000 [1]. На основе уравненной стереопары были созданы цифровая модель местности (ЦММ) и цифровая модель рельефа (ЦМР). В отличие от ЦМР, аппроксимирующей высоты только истинного рельефа, ЦММ включает в себя также высоты антропогенных объектов и растительности. Создание ЦММ реализовано в несколько этапов: 1) автоматический расчет пикетов; 2) ручная фильтрация мелких выбросов; 3) ручная стереовекторизация береговой линии; 4) построение модели TIN; 5) создание ЦММ. Построение ЦМР представляет собой модифицированный алгоритм построения ЦММ: после автоматического расчета пикетов дополнительно проводится автоматическая фильтрация строений и растительности.

Для автоматического расчета пикетов уста-

новлен 5-метровый шаг сетки и распределенный режим обработки, позволивший увеличить быстродействие операции за счет одновременного использования всех ядер процессора. По окончании автоматической работы фильтра проведена ручная корректировка положения пикетов на пересеченных участках снимков. Особые требования предъявлялись к высотной точности пикетов, аппроксимирующих береговую линию реки Бия. В связи с этим она была векторизована вручную в стереорежиме. По оцифрованной береговой линии и отфильтрованным пикетам построена модель TIN, послужившая основой для создания ЦМР с размером ячейки 5 м. На базе матрицы высот средствами ЦФС PHOTOMOD 6.0 создан ортофотоплан, а также горизонталь с сечением рельефа 2,5 м. ЦМР и контуры оцифрованной в стереорежиме береговой линий экспортированы в форматы .dem и .shp соответственно для дальнейшей обработки в ГИС.

Геоинформационное моделирование наводнения реализовано средствами ArcGIS 10 с привлечением инструментария ГИС-пакета GlobalMapper 13. Статистические данные ежесуточных измерений уровня воды на гидропосту Бийска взяты с официального сайта муниципального образования город Бийск и электронной базы данных гидрологических расчетов [8, 9].

Согласно базе данных (БД) «Гидрорасчеты», абсолютная высота отметки нуля на гидропосту реки Бия в районе Бийска составляет 162,68 м. Фактические значения превышения этого уровня воды на конец мая — начало июня 2014 года, в соответствии с данными ежесуточных измерений, характеризуются следующими величинами: 4,16 м — 28 мая; 4,4 м — 29 мая; 5,66 м — 31 мая; 7,12 м — 2 июня; 5,92 м — 3 июня; 3,37 м — 6 июня.

Границы областей затопления, полученные в ГИС-пакете GlobalMapper 13 для каждого из представленных значений уровня воды, были сохранены в растровом формате .img и экспор-

тированы в ГИС-пакет ArcGIS 10 для дальнейшего конвертирования в векторный формат .shp и редактирования. В процессе моделирования было решено пренебречь уклоном реки Бия, поскольку в пределах исследуемой территории разница высотных отметок урезов воды меньше высотной точности ЦМР. В ходе редактирования замкнутые области локальных понижений исключены из границ областей затопления. На основе исправленных границ и исходной ЦМР, предварительно сконвертированной в модель TIN, для каждой области затопления рассчитаны площадь и объем воды (рис. 1). Операции расчета проводились средствами модуля 3D-Analyst. Для того чтобы оценить материальный ущерб от наводнения, с помощью оверлейного функционала ArcGIS 10 было рассчитано число строений, оказавшихся в зоне затопления при том или ином уровне воды в реке Бия (рис. 2).

В качестве общегеографической основы для карт наводнения использованы актуализированные по ортофотоплану данные открытых источников OpenStreetMap [10]. В результате согласования всех элементов содержания, как тематических, так и общегеографических, создана серия разномасштабных карт наводнения в городе Бийске.

На рис. 1 и 2 представлены карты наводнения в Бийске в период динамичного увеличения уровня воды в реке Бия с 28 мая по 2 июня 2014 г. и ее постепенного снижения с 3 по 6 июня 2014 г. По данным с официального сайта города Бийска, пик уровня воды в городе, составивший 7,12 м относительно нуля водопоста, пришелся на 2 июня. Затопленным оказался левый берег реки Бия к югу от поселка Кожзавод, вдоль автомобильной дороги Р-368. На правом берегу под водой оказались садовые участки, примыкающие к микрорайону Зеленый Клин, и отдельные строения в самом микрорайоне — всего 339 строений. Площадь затопления на 2 июня 2014 г. составила почти 17 кв. км, а объем сконцентрированной

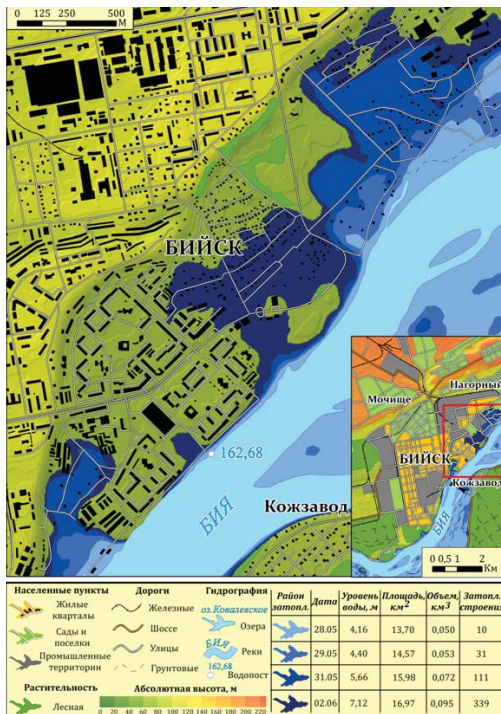


Рис. 1. Карта наводнения в окрестностях г.Бийска на период с 28 мая по 2 июня 2014 г.

в нем воды — более 90 млн. куб. м. Начиная с 3 июня, уровень воды в реке Бия постепенно снижался, достигнув 6 июня отметки 3,37 м. Вместе с этим стабилизировалась и обстановка в городе: на правом берегу в зоне затопления осталось только 10 жилых и нежилых домов.

Для более наглядного представления результатов моделирования ЦММ текстурирована ортофотопланом и слоем границы области затопления по состоянию на 2 июня 2014 г. (рис. 3). Таким образом, была получена трехмерная модель. С ее помощью гораздо удобнее принимать управленческие решения по борьбе с последствиями наводнения.

Как показывает практика, взаимодействие геоинформационных и фотограмметрических технологий позволяет на основе ЦМР успешно моделировать границы распространения наводнений и их последствия для местного населе-



Рис. 2. Карта изменения затопления в окрестностях г.Бийска с 2 мая по 6 июня 2014 г.

ния. По соотношению детальности и оперативности получения наиболее оптимальными данными для фотограмметрического построения ЦМР являются космические снимки сверхвысокого пространственного разрешения.

Отличительной особенностью использования ГИС является то, что по сравнению с другими методиками, например графоаналитическими или математическими, геоинформационное моделирование не требует исчерпывающих статистических данных и сложных аналитических формул. Целесообразность использования ГИС возникает, когда речь идет не о прогнозировании наводнения, а о моделировании распространения воды при фактическом развитии событий.

На основе карт можно заключить, что по состоянию на 2 июня 2014 г., когда наводнение достигло своего пика, в зону затопления попал



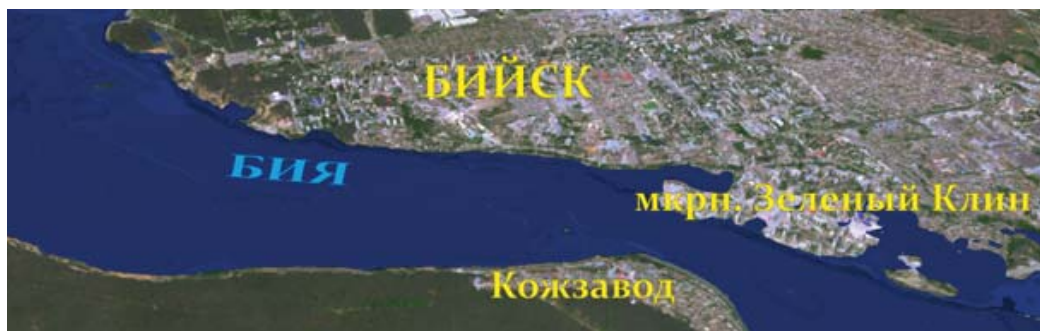


Рис. 3. Визуализация трехмерной модели наводнения в окрестностях г. Бийск

левый берег реки Бия к югу от поселка Кожзавод. На правом берегу в микрорайоне Зеленый Клин под водой оказалось 339 строений. Площадь затопления составила почти 17 кв. км, а объем воды — более 90 млн куб. м. Обстановка в окрестностях Бийска стабилизировалась 6 июня, когда подтопленными на правом берегу осталось только 10 жилых и нежилых домов.

Различные формы представления результатов моделирования – двумерные карты и трехмерные модели – делают процесс организации противопаводковых мероприятий более гибким и наглядным. В результате создается достаточно полная, подкрепленная картографическими материалами геоинформационная поддержка принятия управленческих решений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых карт и планов. — М.: ЦНИИГАиК, 2002. — 32 с.
2. Геоинформатика: Учеб. Для студ. вузов / Капралов Е. Г., Кошкарев А. В., Тикунов В. С. и др.; Под ред. Тикунова В. С. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 480 с.
3. Борщ С. В., Асарин А. Е., Болгов М. В., Полунин А. Я. Наводнения. URL: [http://downloads.igce.ru/publications/metodi\\_osenki/03.pdf](http://downloads.igce.ru/publications/metodi_osenki/03.pdf). (дата обращения 28.10.2014)
4. Новаковский Б. А., Прасолова А. И., Волкова И. С., Пермяков Р. В. Геоинформационное обеспечение моделирования рельефа с использованием цифровых фотограмметрических станций // Геоинформатика. — 2011. — № 4. — с. 42-48
5. Новаковский Б. А., Прасолова А. И., Пермяков Р. В. Геоинформационное моделирование наводнений с применением фотограмметрических технологий // Геодезия и картография, 2013. - № 11. - с.35-39.
6. Новаковский Б. А., Прасолова А. И., Пермяков Р. В. Фотограмметрические технологии геоинформационного моделирования наводнений (на примере г. Крымск) // Геодезия и картография. - 2014. - №3. - с.37-42.
7. Официальный сайт «Российской газеты». URL: <http://www.rg.ru/2014/07/03/reg-sibfo/altai.html> (дата обращения 28.10.2014)
8. Официальный сайт муниципального образования город Бийск. URL: [http://www.biysk22.ru/about/info/news/?ELEMENT\\_ID=12437](http://www.biysk22.ru/about/info/news/?ELEMENT_ID=12437) (дата обращения 28.10.2014)
9. Официальный сайт НПО «Гидротехнологии». База данных «Гидро-расчеты». URL: <http://www.hydrotec.ru/Программные-продукты/Базыгидрологических-данных/tabid/71/Default.aspx> (дата обращения: 28.10.2014)
10. OpenStreetMap. Свободная вики-карта мира. URL: <http://www.openstreetmap.org/relation/1437129> (дата обращения: 28.10.2014)