

УДК 528.94:627.152.153

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-131-142

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ НАВОДНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ

Татьяна Анатольевна Борисова

Байкальский институт природопользования СО РАН, 670031, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, тел. (3012)43-36-76, e-mail: tabor@binm.ru

Андрей Николаевич Бешенцев

Байкальский институт природопользования СО РАН, 670031, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, доктор географических наук, профессор РАН, зав. лабораторией, тел. (3012)43-36-76, e-mail: abesh@mail.ru

Александр Александрович Лубсанов

Байкальский институт природопользования СО РАН, 670031, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, ведущий инженер, тел. (3012)43-36-76, e-mail: alub@binm.ru

Дарима Гармаевна Будаева

Байкальский институт природопользования СО РАН, 670031, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, кандидат географических наук, ведущий инженер, тел. (3012)43-36-76, e-mail: budaevadarima@yandex.ru

Зоригма Зундуювна Пахахинова

Байкальский институт природопользования СО РАН, 670031, Россия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6, кандидат географических наук, ведущий инженер, тел. (3012)43-36-76, e-mail: m_zorigma@mail.ru

В статье освещены сведения о катастрофических наводнениях на реках бассейна озера Байкал в прошлом веке. Представлена функциональная структура ГИС-мониторинга наводнений, состоящая из измерительной, информационной, технологической и аналитической подсистем. Предложена технологическая схема создания цифровой модели местности на основе векторных изолиний рельефа и космических снимков, отображающая физико-географические особенности развития опасности. Дана характеристика основных показателей опасности, которой подвергаются территории при наводнениях, – повторяемость наводнений, их величина и площадь распространения. Определены физико-географические особенности распространения наводнений на главных реках исследуемой территории. Выполнено геоинформационное картографирование параметров наводнений в границах бассейнов главных рек. Представлена блок-схема работы с ГИС, включающая методику автоматизированного картографирования и методику интерактивной работы с ГИС посредством геоинформационных запросов, дана характеристика ответных моделей развития опасности.

Ключевые слова: наводнения, мониторинг, ГИС, цифровая модель местности, геоинформационное картографирование, запросы.

Введение

Для организации устойчивой хозяйственной деятельности и рационального природопользования важное значение имеет процедура картографирования опасных природных процессов. Она предполагает решение ряда научных задач: пространственно-временная регистрация опасностей; моделирование механизма их развития; анализ уязвимости хозяйственной инфраструктуры; определение экономического ущерба чрезвычайных ситуаций; оценка экологического риска. Наиболее частый и значительный ущерб населению, сельскому хозяйству, объектам недвижимости причиняют наводнения. Для мониторинга и оценки наводнений требуются значительные массивы картографических, спутниковых и статистических геоданных, служащих исходной информацией для метрической оценки их пространственно-временных параметров. Внедрение геоинформационной технологии позволяет автоматизировать механизм использования больших объемов разнородных и разноформатных данных и автоматизировать технологии картографирования и моделирования гидрологических опасностей.

В настоящее время в министерствах, ведомствах, научно-исследовательских организациях представителями общественности и бизнеса значительное внимание уделяется проблеме наводнений. Исследованию их генезиса, механизмов формирования и физико-географических особенностей посвящен ряд работ. Большое внимание уделяется оценке и картографированию опасности наводнений [1–9], а также определению риска и возможного ущерба от наводнений с использованием современной геоинформационной технологии [10–15]. Активное развитие получило геоинформационное моделирование пространственно-временных параметров наводнений с использованием данных дистанционного зондирования [16–21]. Для Байкальского региона выполнено районирование территории по опасности наводнений [22, 23].

Постановка проблемы

Наиболее освоенной частью бассейна оз. Байкал является трансграничный российско-монгольский бассейн р. Селенга, представляющий собой крупнейшую экосистему общей площадью – 446 622 км² (монгольская часть – 296 455 км²; российская часть – 150 304 км²). Здесь расположены стратегические промышленные предприятия и уникальные месторождения минерального сырья. Хозяйственное развитие исследуемой территории сопровождается деятельностью различных опасных природных процессов, прежде всего, наводнений. В масштабах России бассейн реки Селенга относится к регионам с высокой вероятностью наводнений. В прошлом столетии зарегистрировано 6 катастрофических наводнений (выше 400 см): 1908 г. – 408 см, 1932 г. – 450 см, 1936 г. – 464 см, 1940 г. – 416 см, 1971 г. – 410 см, 1973 г. – 437 см, а также серия высоких наводнений (выше 300 см): 1927 г. 1938 г., 1942 г., 1962 г., 90-е гг. Размеры ущерба, нанесенного Республике Бурятия, значительны: в 1971 г.

ущерб составил около 1,4 млрд руб., в 1973 г. – 0,7 млрд руб., в 1993 г. – 40 млрд руб. (в текущих ценах периода прохождения наводнений). Большинство населенных пунктов, в том числе г. Улан-Удэ, а также значительные площади сельскохозяйственных земель, расположены в долинах рек бассейна, периодически подвергающихся затоплениям. Высокое значение этой территории определяет необходимость поиска обоснованных управленческих решений по предупреждению, снижению последствий, прогнозированию возможных потерь и оценке риска от наводнений. Таким образом, создание надежной геоинформационной системы (ГИС), позволяющей хранить и обрабатывать большие массивы пространственных данных, анализировать их и получать новую информацию о наводнениях, отвечать на запросы и оперативно выдавать информацию в требуемой форме, является актуальной задачей.

Геоинформационная регистрация наводнений

Специфика современного мониторинга наводнений заключается в том, что пространственно-временная оценка осуществляется посредством картографического отслеживания их метрических параметров и топологических отношений с объектами жизнедеятельности в информационной среде. В целях организации непрерывного наблюдения наводнений в бассейне р. Селенга в Байкальском институте природопользования (БИП) СО РАН разработана и внедрена ГИС мониторинга наводнений на базе пакета ArcGIS, состоящая из четырех открытых подсистем (рис. 1).



Рис. 1. Структура ГИС

Техническую базу измерительной подсистемы составляют геохимические и геофизические приборы, предназначенные как для полевой регистрации геосвойств, так и для камеральной обработки геоданных. Наличие дифференциальной станции глобального позиционирования, беспилотного летательного аппарата (БПЛА) Phantom и лазерного сканера Leica обеспечивает надежное

измерение параметров объектов наводнений и высокую точность математической основы мониторинга. Основу информационной подсистемы составляют разновременные цифровые топографические и тематические карты, космо- и аэроснимки, статистические и литературные данные, а также система классификации и кодирования разновременной пространственной информации. Технологическая подсистема состоит из технических и программных средств, необходимых для компьютерной оценки метрических параметров наводнений, а также средств ввода, составления и малотиражного издания карт. Аналитическую подсистему представляют методика геоинформационного картографирования, система алгоритмов и математические модели обработки и анализа пространственных данных программы ArcGIS.

При геоинформационной оценке наводнений важной задачей является создание производных материалов на основе базовых пространственных данных, отображающих физико-географические особенности развития опасности. Плановой базой геоинформационной оценки наводнений является топографическая основа масштаба 1 : 100 000. Высотной основой оценки является цифровая модель рельефа (GRID-поверхность). Исходными данными для формирования цифровой модели рельефа являются векторные изолинии рельефа и отметки высот и глубин топоосновы масштаба 1 : 50 000. В результате проецирования сцены космических снимков Landsat на поверхность GRID создана цифровая модель местности, которая имеет высокую метрическую точность и обладает необходимой обзорностью и наглядностью для принятия обоснованных территориальных решений (рис. 2).

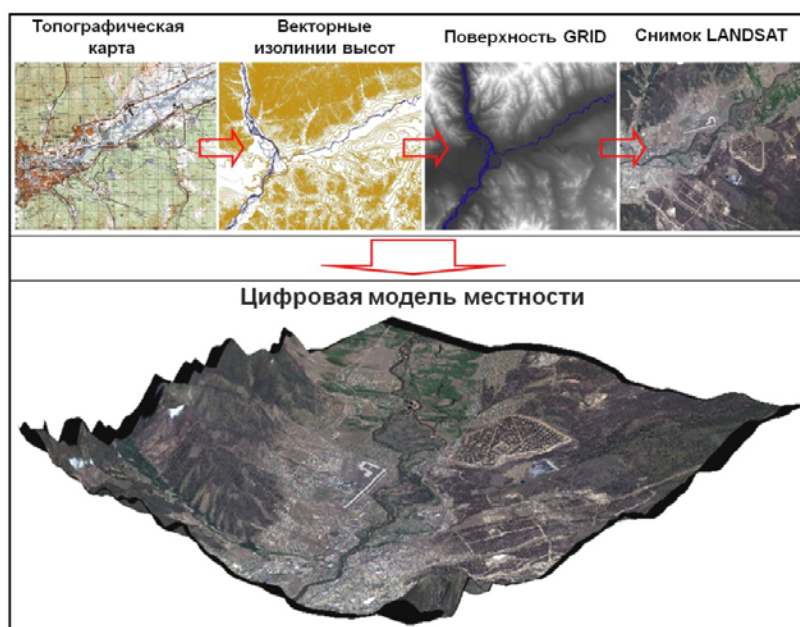


Рис. 2. Технологическая схема создания цифровой модели местности

Регистрация и картографирование наводнений на исследуемой территории осуществляется в границах бассейнов главных рек. В основе такого подхода

лежит понимание речного бассейна как целостной геосистемы с иерархическими горизонтальными и вертикальными связями, формирование и функционирование которой обусловлено геологическими, гидрологическими, климатическими и другими факторами развития речной сети в единых орографических границах. Определяющими факторами наводнений в бассейне являются в первую очередь циклоническая деятельность второй половины лета, обуславливающая выпадение дождей обложного или ливневого характера, а также достаточное количество снежных осадков, накапливаемых в горах Прибайкалья, горно-котловинный рельеф и антропогенная нарушенность отдельных участков русел. Основными показателями опасности, которой подвергаются территории при наводнениях, являются повторяемость наводнений, их величина и площадь распространения.

Показатель частоты проявления, или *повторяемость* (случаев в год), определен как отношение числа лет с наводнениями к числу лет рассматриваемого периода (рис. 3, а). Так, максимально высокая повторяемость 0,8–0,9 (выход воды на пойму) характерна для отдельных гидрологических постов: Джида – Хамней, Селенга – Усть-Кяхта, Селенга – Новоселенгинск. Наиболее высокие наводнения со значительным затоплением объектов хозяйства и ряда населенных пунктов, расположенных в поймах рек, случаются с частотой 0,05–0,12 и средние-небольшие, при которых затопляются преимущественно сельскохозяйственные угодья и отдельные поселения, – 0,15–0,34.

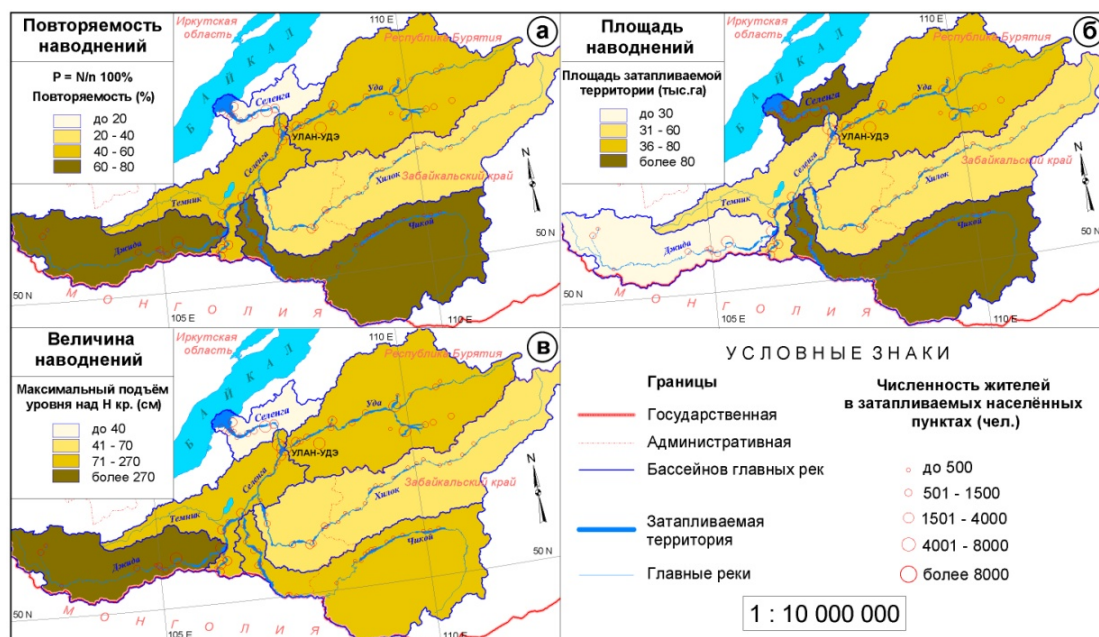


Рис. 3. Основные параметры наводнений в границах бассейнов рек

Определение вероятных границ и *площадей затопления* осуществлено на основе рассчитанного показателя величины наводнений по топографической основе масштаба 1 : 100 000 и разновременным космическим снимкам Landsat (рис. 3, б). Картографирование зон затопления выполнено в программной среде ArcGIS. В качестве гидрологической информации использованы расчетные

уровни воды в створах, полученные с помощью кривых распределения ежегодных вероятностей превышения максимальных уровней воды дождевых паводков. Для населенных пунктов, не располагающих гидрометрическими постами, использовался метод интерполяции с учетом продольного профиля и падения реки на основе крупномасштабных карт. В границах поселений использована топографическая основа масштаба 1 : 25 000. Детализированное картографирование отдельных сложных участков в пределах поселений выполнено квадрокоптером с помощью съемочной аппаратуры Mavic Pro. Для создания ортофотопланов и ЦМР территории использована съемочная аппаратура Mavic Pro, обработка снимков выполнена в среде Agisoft PhotoScan. Точность площадей затопления соответствует разрешению используемых космических снимков 15 м, а также точности топографической основы 0,2 мм в масштабе карты.

При катастрофических наводнениях общая площадь возможных зон поражения достигает 3 123 км², из них 2 363 км² – территории сельхозугодий, что составляет 3,4 % территории бассейна и 9,5 % площади сельхозугодий. Кроме того, более 100 населенных пунктов, в том числе г. Улан-Удэ, расположены в опасных зонах или примыкают к ним и находятся под угрозой частичного затопления и подтопления, некоторые из них защищены дамбами. Сопряженный анализ показателей опасности свидетельствует о неодинаковом прохождении наводнений на отдельных реках, а также их участках. Это подтверждается значительными, часто повторяющимися наводнениями в средне-нижнем течении р. Селенги, р. Джиды, нижнем – р. Чикоя, р. Уды, наиболее масштабными – в дельте р. Селенги и среднем течении р. Уды, где высота уреза воды на пойме лишь 20–50 см.

Показатель величины наводнений индивидуален для каждой реки и определяется гидрологическими условиями и морфологией долины (рис. 3, в). Он рассчитан как разница максимального подъема уровня воды над критическим уровнем выхода воды на пойму [24]. Данные расчетов показывают, что максимальные значения уровней воды в реках бассейна наиболее характерны для периода летних паводков, и превышение над критическим уровнем составляет от 30 до 437 см. Исключительные подъемы воды на пойме более 200 см отмечены на следующих гидрологических постах: Джиды – Хамней – 437 см, Джиды – 295 см, Селенга – Новоселенгинск – 419 см, Селенга – Усть-Кяхта – 198 см, Селенга-Улан-Удэ – 207 см, Чикой – Поворот – 267 см, Уда – Улан-Удэ – 266 см.

В результате геоинформационного картографирования созданы цифровые модели наводнений различной повторяемости в виде совокупности векторных слоев и таблиц атрибутов. Физико-географические характеристики экологических изменений определяются на основе картографической оценки динамики затопления населенных пунктов, сельхозугодий и хозяйственной инфраструктуры.

Важным условием автоматизированной системы является возможность интерактивной работы с многослойным рабочим покрытием и большим числом тематических слоев. Такое взаимодействие осуществляется посредством геоинформационных запросов к хранящимся данным. Рабочее покрытие ГИС создается в результате картографирования отдельных компонентов окружающей

среды и последующего совмещения тематических слоев. Например, на запрос «Оценить сельскохозяйственный ущерб в Заиграевском административном районе от наводнения на р. Уда» первым шагом реализации запроса является выбор объектов (сельхозугодья) и пространственных критериев моделирования (административный район и зона затопления) (рис. 4). Затем устанавливаются топологические отношения между этими слоями и выполняется автоматизированная метрическая оценка образовавшихся полигонов. В результате этих операций создается новый слой, регистрирующий пространственное и количественное состояние моделируемого явления (пораженность сельхозугодий). Затем выполняются агрегирование атрибутов явления и метрическая и качественно-количественная оценка возможного ущерба от наводнения.

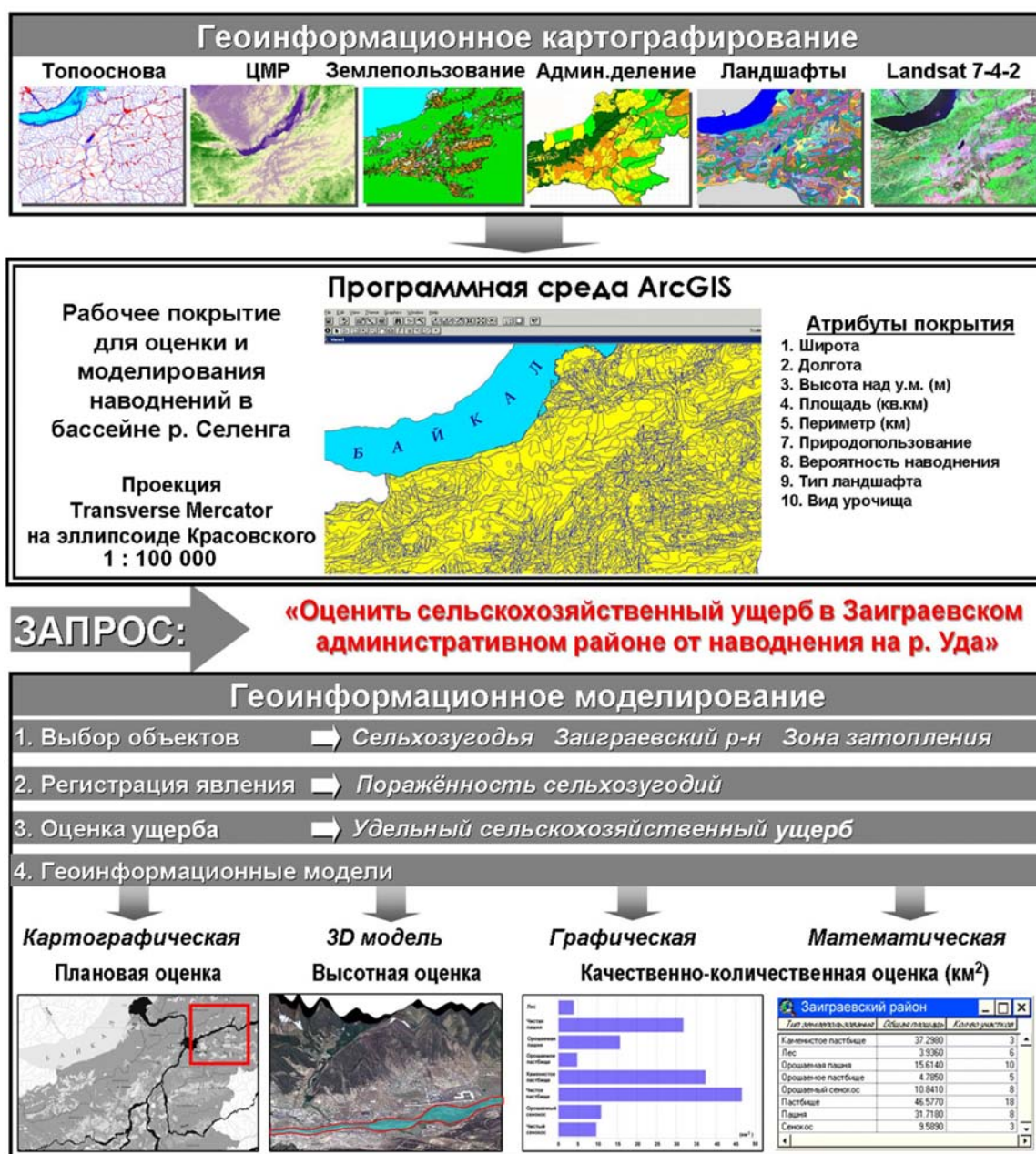


Рис. 4. Технологическая схема интерактивной работы с ГИС

Картографическая модель позволяет выполнить пространственную оценку негативной динамики наводнения. Цифровая модель рельефа позволяет выполнить высотную оценку возможного проявления наводнения. Графическая модель представляет количественную характеристику пораженных сельхозугодий в целом и по каждому объекту землепользования. Математическая модель представляет собой реляционную базу данных, содержащую метрические параметры (с точностью до 1 м) всех образовавшихся полигонов объектов и процесса.

Заключение

Таким образом, созданная ГИС картографического мониторинга наводнений представляет собой современный автоматизированный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку и анализ пространственно координируемой информации. Она открыта для геоданных любой природы происхождения, технологически проста и управляема, что предполагает возможность оперативного создания инвентаризационных и оценочных карт наводнений. Система обеспечивает возможность как интерактивной работы пользователя в режиме запросов, так и малотиражную печать карт. Технологическая реализация ГИС позволяет надежно регистрировать пространственно-временные параметры наводнений, прогнозировать возможную активизацию их развития, количественно оценивать материальный и социальный ущерб, а также формулировать рекомендации для органов территориального управления.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-45-030020 «Интегральная оценка рисков от наводнений на реках бассейна оз. Байкал»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Голубева А. Б., Курепина Н. Ю. Опыт оценки и картографирования опасности наводнений для территорий различных иерархических уровней (на примере Обь-Иртышского бассейна) // Ползуновский вестник. – 2011. – № 4–2. – С. 34–37.
2. Мироненко А. А., Фролова Н. Л., Рец Е. П. Оценка и картографирование опасности наводнений на Северном Кавказе: обзор и сопоставление существующих подходов // Геориск. – 2018. – Т. 12, № 2. – С. 26–37.
3. Терский П. Н. Оценка опасности потенциальных наводнений на реках бассейна Северной Двины // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2011. – № 3. – С. 90–101.
4. Географо-гидрологическая оценка наводнений в Российском Причерноморье / И. А. Вишневская, Л. В. Десинов, С. В. Долгов, Н. И. Коронкевич, С. И. Шапоренко, М. Б. Киреева, Н. Л. Фролова, Е. П. Рец, С. Н. Голубчиков // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2016. – № 1. – С. 131–146.
5. Гладкевич Г. И., Терский П. Н., Фролова Н. Л. Оценка опасности наводнений на территории Российской Федерации // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2012. – № 2. – С. 29–46.
6. Стручкова Г. П., Капитонова Т. А., Тарская Л. Е. Паводки на реках Якутии // Безопасность жизнедеятельности. – 2012. – № 9 (141). – С. 42–44.

7. Прогнозирование поверхностного стока половодий и дождевых паводков / О. В. Зенкин, В. А. Мелкий, В. А. Малинников, Д. В. Долгополов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотоъемка. – 2015. – № 3. – С. 79–84.
8. A Remote Sensing Based Integrated Approach to Quantify the Impact of Fluvial and Pluvial Flooding in an Urban Catchment [Электронный ресурс] / M. Muthusamy, M. Rivas, G. Salmoral, T. Irvine, P. Leinster // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11 (5). – P. 577. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/rs11050577>.
9. Masaru M. Flood Risk Impact Factor for Comparatively Evaluating the Main Causes that Contribute to Flood Risk in Urban Drainage Areas [Электронный ресурс] // Water. – 2014. – Vol. 6 (2). – P. 253–270. – Режим доступа: <https://doi.org/10.3390/w6020253>.
10. «ГИС» Амур: система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях / А. В. Фролов, В. В. Асмус, С. В. Борщ, Р. М. Вильфанд, И. И. Жабина, В. В. Зятягалова, В. А. Кровотынцев, О. И. Кудрявцева, Е. А. Леонтьева, Ю. А. Симонов, Ю. А. Степанов // Метеорология и гидрология. – 2016. – № 3. – С. 5–21.
11. Геоинформационные технологии в санитарно-гигиенической оценке последствий наводнений в населенных пунктах (на примере реки Оби Алтайского края в 2014–2015 гг.) / В. А. Хмелев, В. В. Турбинский, А. А. Самшорина, А. В. Суворова, В. В. Колосницына, И. Чечек // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 4 (32). – С. 153–168.
12. Районирование территории по степени опасности и оценка рисков наводнений с использованием ГИС-технологий / С. Г. Яковченко, И. С. Постнова, В. А. Жоров, О. В. Ловцкая, В. О. Дмитриев // Вычислительные технологии. – 2006. – Т. 11, № S6. – С. 87–93.
13. Шахраманьян М. А., Нигметов Г. М., Сосунов И. В. Применение ГИС-технологий для прогнозирования паводковой опасности // Технологии гражданской безопасности. – 2003. – № 1–2. – С. 62–68.
14. Ловцкая О. В., Кошелев К. Б., Балдаков Н. А. WEB-ГИС для визуализации результатов моделирования опасных гидрологических ситуаций // Известия Алтайского отделения Русского географического общества. – 2015. – № 4 (39). – С. 49–52.
15. Лисицкий Д. В., Тай Н. А. Геоинформационный анализ возможных затоплений территории города Хошимин // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 8–18 апреля 2014 г., Новосибирск : 5-я Международная конференция «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху "Больших данных"» : сб. материалов. – Новосибирск : СГГА, 2014. – С. 12–18.
16. Архипкин О. П., Сагатдинова Г. Н. Использование поляриметрических радарных данных при космическом мониторинге паводков и наводнений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2017. – Т. 14, № 2. – С. 175–184.
17. Геоинформационное моделирование наводнений по материалам космической съемки (на примере г. Бийск, Алтайский край) / Б. А. Новаковский, О. Н. Колесникова, А. И. Прасолова, Р. В. Пермяков // Геоинформатика. – 2015. – № 1. – С. 15–20.
18. Тарарин А. М. Опыт применения изображений Земли из космоса и ГИС-технологий для мониторинга паводков и наводнений в России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2007. – Т. 4, № 2. – С. 340–344.
19. Архипкин О. П., Сагатдинова Г. Н. Использование различных оптических радарных данных дистанционного зондирования при оперативном космическом мониторинге паводков в Казахстане. // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: техника и технология. – 2016. – Т. 9, № 7. – С. 1045–1058.
20. Yong W. Advances in Remote Sensing of Flooding // Water. – 2015. – Vol. 7 (11). – P. 6404–6410. doi: 10.3390/w7116404.
21. On the Potential of RST-FLOOD on Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Data for Flooded Areas Detection / T. Lacava, E. Ciancia, M. Faruolo, N. Pergola, V. Satriano, V. Tramutoli // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11 (5). – P. 598. doi: 10.3390/rs11050598.

22. Кичигина Н. В., Корытный Л. М. Районирование Восточной Сибири по опасности наводнений // География и природные ресурсы. – 1997. – № 3. – С. 50–60.

23. Экологический атлас бассейна озера Байкал. – Иркутск : Изд-во Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. – 145 с.

24. Борисова Т. А. Природно-антропогенные риски в бассейне озера Байкал. – Новосибирск : Гео, 2013. – 126 с.

Получено 06.03.2019

© Т. А. Борисова, А. Н. Бешенцев,
А. А. Лубсанов, Д. Г. Будаева, З. З. Пахахинова, 2019

GIS-BASED FLOOD MONITORING OF LAKE BAIKAL BASIN

Tatyana A. Borisova

Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670031, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (3012)43-36-76, e-mail: tabor@binm.ru

Andrew N. Beshentsev

Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670031, Russia, D. Sc., Professor of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory, phone: (3012)43-36-76, e-mail: abesh@mail.ru

Alexander A. Lubsanov

Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670031, Russia, Leading Engineer, phone: (3012)43-36-76, e-mail: alub@binm.ru

Darima G. Budaeva

Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670031, Russia, Ph. D., Leading Engineer, phone: (3012)43-36-76, e-mail: budaevadarima@yandex.ru

Zorigma Z. Pakhakhinova

Baikal Institute of Nature Management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6, Sakhyanova St., Ulan-Ude, 670031, Russia, Ph. D., Leading Engineer, phone: (3012)43-36-76, e-mail: m_zorigma@mail.ru

The article highlights information about catastrophic floods on the rivers of the Baikal Basin in the last century. The functional structure of GIS flood monitoring, consisting of measuring, information, technological and analytical subsystems, is presented. A technology system of creating a digital terrain model based on vector isolines of the relief and satellite images, representing the physical-geographical features of the development of danger, is proposed. The characteristic of the main indicators of the hazard area from floods is given - the frequency of floods, their size and area of distribution. Physical and geographical features of the spread of flooding on the main rivers of the study area were determined. The geoinformation mapping of flood parameters in the boundaries of the basins of the main rivers was carried out. A flowchart of work with GIS is presented, including the method of automated mapping and the method of interactive work with GIS by means of geoinformational queries, a characteristic of the response hazard development models is given.

Key words: floods, monitoring, GIS, digital terrain model, geoinformation mapping, queries.

REFERENCES

1. Golubeva, A. B., & Kurepina, N. Yu. (2011). Experience in assessing and mapping the danger of floods for territories of different hierarchical levels (using the Ob-Irtysh basin as an example). *Polzunovskij vestnik [Bulletin Polzunovskij]*, 4–2, 34–37 [in Russian].
2. Mironenko, A. A., Frolova, N. L., & Retz, E. P. (2018). Estimation and mapping of flood hazards in the North Caucasus: a review and comparison of existing approaches. *Georisk [Georisk]*, 2, 26–37 [in Russian].
3. Tersky, P. N. (2011). Estimation of the danger of potential flooding in the rivers of the Northern Dvina basin. *Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water Industry of Russia: Problems, Technologies, Management]*, 3, 90–101 [in Russian].
4. Vishnevskaya, I. A., Desinov, L. V., Dolgov, S. V., Koronkevich, N. I., Shaporenko, S. I., Kireeva, M. B., Frolova, N. L., Retz, E. P., & Golubchikov, S. N. (2016). Geographical and hydrological assessment of floods in the Russian Black Sea region. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya [News of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series]*, 1, 131–146 [in Russian].
5. Gladkevich, G. I., Tersky, P. N., & Frolova, N. L. (2012). Flood hazard assessment in the Russian Federation. *Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water Industry of Russia: Problems, Technologies, Management]*, 2, 29–46 [in Russian].
6. Struchkova, G. P., Kapitonova, T. A., & Tarskaya, L. E. (2012). Floods on the rivers of Yakutia. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti [Life Safety]*, 9(141), 42–44 [in Russian].
7. Zenkin, O. V., Melky, V. A., Malinnikov, V. A., & Dolgoplov, D. V. (2015). Prediction of surface runoff of floods and rain floods. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"yomka [Izvestiya Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, 3, 79–84 [in Russian].
8. Muthusamy, M., Rivas, M., Salmoral, G., Irvine, T., & Leinster, P. (2019). A Remote Sensing Based Integrated Approach to Quantify the Impact of Fluvial and Pluvial Flooding in an Urban Catchment. *Remote Sensing*, 11(5), P. 577. – Retrieved from <https://doi.org/10.3390/rs11050577>.
9. Masaru, M. (2014). Flood Risk Impact Factor for Comparatively Evaluating the Main Causes that Contribute to Flood Risk in Urban Drainage Areas. *Water*, 6(2), 253–270. – Retrieved from <https://doi.org/10.3390/w6020253>.
10. Frolov, A. V., Asmus, V. V., Borsch, S. V., Vilfand, R. M., Zhabina, I. I., Zatiagalova, V. V., Krovotyntsev, V. A., Kudryavtseva, O. I., Leontyeva, E. A., Simonov, Yu. A., Stepanov, & Yu. A. (2016). "GIS" Amur: a system for monitoring, forecasting and early warning of floods. *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and Hydrology]*, 3, 5–21 [in Russian].
11. Khmelev, V. A., Turbinsky, V. V., Samshorina, A. A., Suvorova, A. V., Kolosnitsyna, V. V., & Chechek, I. (2015). Geoinformation technologies in the sanitary-hygienic assessment of the consequences of floods in populated areas (by example Obi River of the Altai Territory in 2014–2015). *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(32), 153–168 [in Russian].
12. Yakovchenko, S. G., Postnova, I. S., Zhorov, V. A., Lovtskaya, O. V., Dmitriev, V. O. (2006). Territory zoning by hazard level and flood risk assessment using GIS technology. *Vychislitel'nyye tekhnologii [Computational Technologies]*, 11(S6), 87–93 [in Russian].
13. Shakhramanyan, M. A., Nigmatov, G. M., & Sosunov, I. V. (2003). Application of GIS technologies for flood forecasting. *Tekhnologii grazhdanskoy bezopasnosti [Civil Security Technologies]*, 1–2, 62–68 [in Russian].
14. Lovtskaya, O. V., Koshelev, K. B., & Baldakov, N. A. (2015). WEB-GIS for visualization of simulation results of dangerous hydrological situations. *Izvestiya Altayskogo otdeleniya Russkogo geograficheskogo obshchestva [News of the Altai Branch of the Russian Geographical Society]*, 4(39), 49–52 [in Russian].

15. Lisitsky, D. V., & Tai, N. A. (2014). Geoinformation analysis of possible flooding of the territory of the city of Ho Chi Minh. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Rannee preduprezhdenie i upravlenie v krizisnykh situatsiyah v ehppohu "Bol'shih dannyh" [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Early warning and crisis management in the era of "Big Data"]* (pp. 12–18). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
16. Arkhipkin, O. P., & Sagatdinova, G. N. (2017). The use of polarimetric radar data in the space monitoring of floods and floods. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space]*, 14(2), 175–184 [in Russian].
17. Novakovskiy, B. A., Kolesnikova, O. N., Prasolova, A. I., & Permyakov, R.V. (2015). Geoinformational modeling of floods based on materials of space shooting (on the example of Biysk, Altai Territory). *Geoinformatika [Geoinformatics]*, 1, 15–20 [in Russian].
18. Tararin, A. M. (2007). The experience of using images of the Earth from space and GIS technologies for monitoring floods and floods in Russia. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa [Modern Problems of Remote Sensing of the Earth from Space]*, 4(2), 340–344 [in Russian].
19. Arkhipkin, O. P., & Sagatdinova, G. N. (2016). The use of various optical radar remote sensing data for operational space monitoring of floods in Kazakhstan. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: tekhnika i tekhnologiya [Journal of the Siberian Federal University. Series: Technology and Technology]*, 9(7), 1045–1058 [in Russian].
20. Yong, W. (2015). Advances in Remote Sensing of Flooding. *Water*, 7(11), 6404–6410. doi: 10.3390/w7116404.
21. Lacava, T., Ciancia, E., Faruolo, M., Pergola, N., Satriano, V., & Tramutoli, V. (2019). On the Potential of RST-FLOOD on Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Data for Flooded Areas Detection. *Remote Sensing*, 11(5), P. 598 [in English]. doi: 10.3390/rs11050598.
22. Kichigina, N. V., & Korytny, L. M. (1997). Zoning of Eastern Siberia by the danger of floods. *Geografiya i prirodnyye resursy [Geography and Natural Resources]*, 3, 50–60 [in Russian].
23. Plusnin, V. M. (Ed.). (2015). *Ekologicheskiy atlas basseyna ozera Baykal [Ecological Atlas of the Lake Baikal Basin]*. Irkutsk: Institute of Geography SB RAS Publ., 145 p. [in Russian].
24. Borisova, T. A. (2013). *Prirodno-antropogennyye riski v basseyne ozera Baykal [Natural and anthropogenic risks in the basin of Lake Baikal]*. Novosibirsk: Geo Publ., 126 p. [in Russian].

Received 06.03.2019

© T. A. Borisova, A. N. Beshentsev, A. A. Lubсанov,
D. G. Budaeva, Z. Z. Pakhakhinova, 2019