

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЛОЩАДЕЙ ЗАТОПЛЕНИЯ В РАЙОНЕ ПОРТА ДУДИНКА

канд. техн. наук *Е.В.ШЕВНИНА*, инженер *В.П.СОБОЛЕВА*

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, aqua@aari.nw.ru, soboleva.vp@mail.ru

Представлена технология картирования и оценки площадей затопления, основанная на использовании региональной геоинформационной системы (ГИС) и функциональных возможностей приложения ArcGIS Spatial Analyst. Использование технологии представлено на примере территории порта Дудинка.

Ключевые слова: максимальные уровни воды, картирование наводнений, площадь затопления, технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Значительные изменения уровней воды на реках в районах расположения населенных пунктов в периоды максимального стока могут вызывать подтопления социально-экономических объектов. При этом экономический ущерб зависит от площади частичного подтопления или затопления. Картирование возможных площадей затопления при различных уровнях является актуальной задачей при планировании превентивных мероприятий в районах предполагаемого затопления.

В настоящей работе представлена технология картирования и оценки площадей затопления, основанная на использовании региональной геоинформационной системы (ГИС) и функциональных возможностей приложений ArcGIS Spatial Analyst [6, 10]. В качестве региона выбрана территория в районе порта Дудинка, расположенного в Таймырском районе Красноярского края.

Технология картирования площадей подтопления порта Дудинка включает подготовку исходного картографического материала, получение цифровой модели рельефа (ЦМР) и оценку площадей возможных зон затопления. Систематизация полученных данных и реализация технологии картирования осуществляется с использованием региональной геоинформационной системы (РГИС).

Использование РГИС и картирование зон затоплений связано с наличием данных об уровнях воды в районе порта Дудинка, которые могут быть получены как в режиме оперативных наблюдений, так и с использованием краткосрочных динамических и вероятностных прогнозов уровней воды р. Енисей. Кроме того, значительный интерес представляют долгосрочные прогнозы обеспеченных значений максимальных уровней воды в районе.

В настоящей работе показано использование РГИС на примере данных о максимальных уровнях воды малых обеспеченностей по данным наблюдений за 1936–2008 гг.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.

В качестве основы для описания рельефа местности и батиметрии в районе порта Дудинка использованы лоцманские карты масштабом 1:25000 и 1:50000, опубликованные

в 1991–1992 гг. Карты построены по данным промеров 1972–1981 гг. [3, 4]. На лоцманских картах представлены также отметки высот и горизонтали рельефа прилегающей пойменной и прирусловой части. Согласно легенде [3, 4] рельеф этой территории получен с топографических карт 1963–1965 и 1975 гг. Отметка принятого нуля глубин соответствует показанию гидрологического поста Дудинка, равному +2,17 м. Изолинии равных высот проведены через 5 м, дискретность изобат составляет 2–10 м.

Отсканированные бумажные карты были оцифрованы и спроецированы в систему WGS84. Для характеристики рельефа русловой части территории получено достаточно данных, но пойменная и прирусловая части рельефа содержат незначительное число отметок высот (рис. 1). Для описания топографии прибрежной территории необходимо располагать данными крупномасштабных топографических карт. В качестве альтернативы для описания рельефа прибрежной территории использовались цифровые модели рельефа, полученные по данным глобальной топографической съемки (SRTM) и радиометра ASTER, установленного на спутнике TERRA.

Данные SRTM представлены в виде матрицы абсолютных значений высот рельефа с дискретностью 1 м при пространственном разрешении 90×90 м. Абсолютная погрешность данных по высоте составляет 8 м в среднем для глобального массива данных [9, 12]. Для описания выбранного региона были выбраны сцены N69E086 и N69E085 [12]. Выбор данных SRTM для решения задачи получения цифровой модели рельефа в районе порта Дудинка обусловлен использованием этого набора данных для решения задачи картирования наводнений в других регионах [1].

Данные ЦМР, полученные сканером ASTER, представлены в формате *geotiff* и взяты из банка данных [7]. Пространственное разрешение таких данных составляет 30×30 м, высотное разрешение отметок рельефа составляет 1 м, абсолютная погрешность по высоте составляет около 20 м [8]. Площадь покрытия исследуемого района данными ЦМР SRTM и ASTER составила около 8500 км² с г. Дудинка в центре.

Следующим этапом работ является согласование и уточнение высотных отметок рельефа прибрежной территории на основе ЦМР SRTM и ASTER. Анализ соответствия высотных отметок, выбранных ЦМР, данным лоцманских карт осуществлялся на основе совместных массивов высот рельефа. Длина массивов

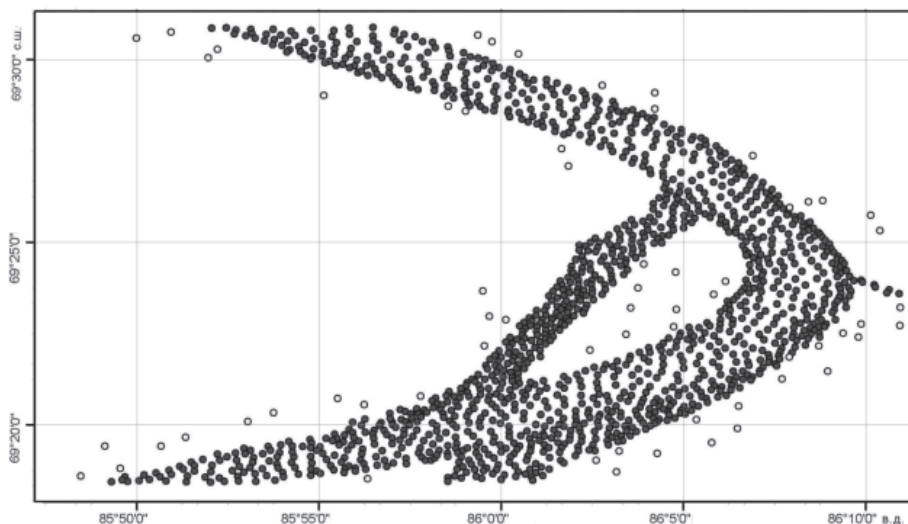


Рис. 1. Наличие данных об отметках высот рельефа (серые точки) и глубин (черные точки) по данным лоцманской карты масштаба 1:25000

составила 68 точек. Соответствие высотных отметок ЦМР данным лоцманских карт оценивалось на основе статистических характеристик массивов, а также по критерию Колмогорова [2].

Построение гибридной цифровой модели рельефа осуществлялось по данным лоцманской карты 1:25000 и данным ЦМР SRTM. Для решения этой задачи отметки глубин и высот с лоцманских карт были приведены в единую систему высот. Данные по высотам были детализированы на основе линий равных высот для построения интерполирующих поверхностей средствами геостатистического анализа [11]. Для получения интерполирующей поверхности русла использовано 1346 точек с отметками глубин. При интерполяции отметок рельефа прибрежной территории использовано 1808 точек.

Выделение площади, соответствующей уровню воды, наблюдаемому на гидрологическом посту Дудинка, осуществляется средствами модуля *Spatial Analyst* ГИС [11].

Использование технологии расчета площадей затопления в районе порта Дудинка представлено на примере многолетних характеристик о наивысших уровнях воды, полученных по данным наблюдений за 1936–2008 гг. Расчет наивысших уровней малых обеспеченностей проведен согласно [5]. Площадь затопления при превышении наивысших уровней воды различной обеспеченности критической отметки оценивается по формуле:

$$F = F_{P\%} - F_{cr},$$

где $F_{P\%}$ – площадь затопления при наивысшем уровне обеспеченностью P (%), F_{cr} – площадь затопления при наивысшем уровне, соответствующем критическому значению. Отметки критических уровней в районе порта Дудинка получены от ГУ «Красноярский ЦГМС-Р» Среднесибирского Управления Росгидромета.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.

Бумажные лоцманские карты масштабом 1:25000 и 1:50000 были отсканированы с высоким разрешением и привязаны с использованием 10–11 опорных точек. Средняя погрешность привязки карты масштаба 1:25000 в плане составила 22 м, при максимальной величине, равной 30 м. Для карты масштаба 1:50000 средняя погрешность привязки в плане составила 68 м, максимальная – до 133 м. В дальнейшем из рассмотрения исключены данные карты масштаба 1:50000.

Лоцманская карта масштаба 1:25000 была оцифрована в несколько тематических слоев (табл. 1), которые составили основу региональной ГИС порта Дудинка. Векторные данные спроецированы в систему WGS84.

В результате получены наборы точечных данных о глубинах дна и высотных отметках прибрежной территории с точностью не менее 30 м в плане.

Для оценки соответствия данных о рельефе ЦМР *SRTM* и *ASTER* отметкам высот карты масштаба 1:25000 использованы 64 точки. Среднее расхождение высотных отметок карты и данных *SRTM* составило 5 м при максимальном – рав-

Таблица 1

Состав региональной ГИС порта Дудинка

Вид данных	Геометрия	Количество объектов в слое
Отметки глубин	точечный	1346
Изобаты	линейный	137
Отметки высот	точечный	1808
Изолинии рельефа	линейный	193
Граница уреза воды	линейный	1
Социально-экономические объекты	полигональный	4

ном 35 м, при этом 70 % точек располагается в пределах 5 м. По данным *ASTER*, эти величины равны 15 и 37 м соответственно. Сравнение высот *SRTM* и *ASTER* с данными карты по критерию Колмогорова показало, что на 10 % уровне значимости высотные расхождения не значимы только по данным *SRTM* (рис. 2б). В дальнейшем из рассмотрения исключены данные ЦМР *ASTER*.

Следующим этапом работы является получение гибридной цифровой модели рельефа, включающей данные батиметрии на подходах к порту Дудинка. Решение этой задачи осуществлялось методами геостатистического анализа путем интерполяции универсальным кригингом [11]. Средняя стандартная погрешность интерполяции составила 5 м для экспоненциальной ковариационной модели. Коэффициент корреляции интерполированных данных с данными лоцманских карт составил 0,98. Уточнение данных рельефа местности прибрежной территории проведено по данным *SRTM*. В результате получена гибридная цифровая модель рельефа.

Оценка площадей затопления территорий в районе порта Дудинка осуществляется по данным о максимальных уровнях воды в период весеннего половодья, полученным на основе наблюдений на гидрологическом посту Дудинка с использованием средств модуля *Spatial Analyst*. По данным многолетних наблюдений за наивысшими уровнями воды в районе Дудинки амплитуда их колебаний составляет в среднем 13–17 м в период половодья.

Известно, что наибольшие площади затапливаются при уровнях редкой (малообеспеченной) повторяемости. Для их определения проанализированы данные о наивысших уровнях воды в районе порта Дудинка в период пика весеннего половодья за период инструментальных наблюдений на основе [5].

Оценка однородности рядов наивысших уровней воды, проведенная с использованием критериев Стьюдента и Фишера, показала, что не наблюдается статистически значимых отклонений начальных моментов вероятностных распределений, связанных с изменением гидрологического режима с началом работы Красноярской ГЭС. Оценка параметров кривой обеспеченности проводилась по данным наблюдений за 1936–2008 гг. Эмпирическая кривая обеспеченности наивысших уровней аппроксимирована кривой Пирсона III типа с параметрами: 1351 см над «0» поста (норма), 0,14 (коэффициент вариации) и –0,55 (коэффициент асимметрии).

Наивысшие уровни малых обеспеченностей представлены в табл. 2. Площади затопления, рассчитанные для наивысших уровней воды малой обеспеченности, рассчитаны для участка р. Енисей длиной 23 км (площадь прилегающей терри-

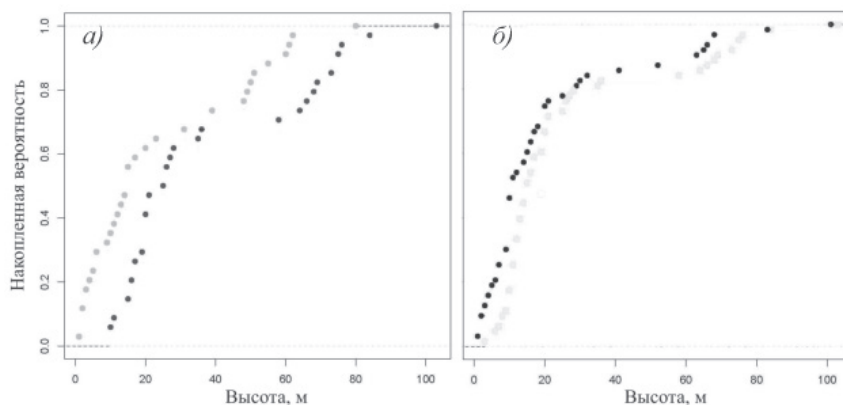


Рис. 2. Эмпирические кривые распределения накопленных вероятностей высот по данным карты масштаба 1:25000 (а – черный, б – серый цвет) и *ASTER* (а – серый цвет) и данных *SRTM* (б – черный цвет)

Таблица 2

Наивысшие уровни воды малых обеспеченностей и соответствующие им площади затопления в районе порта Дудинка

Обеспеченность, %	Наивысший уровень воды, см над нулем графика г/п Дудинка	Площадь затопления, км ²
	1430*	189
20	1515	199
10	1583	199
5	1634	211
3	1664	211
1	1718	222
0,5	1746	222
0,1	1797	222
0,01	1851	223

Примечание. * – критический уровень воды, превышение которого означает подтопление и/или частичное затопление территории поселка Авиапорт (в районе п. Дудинка)

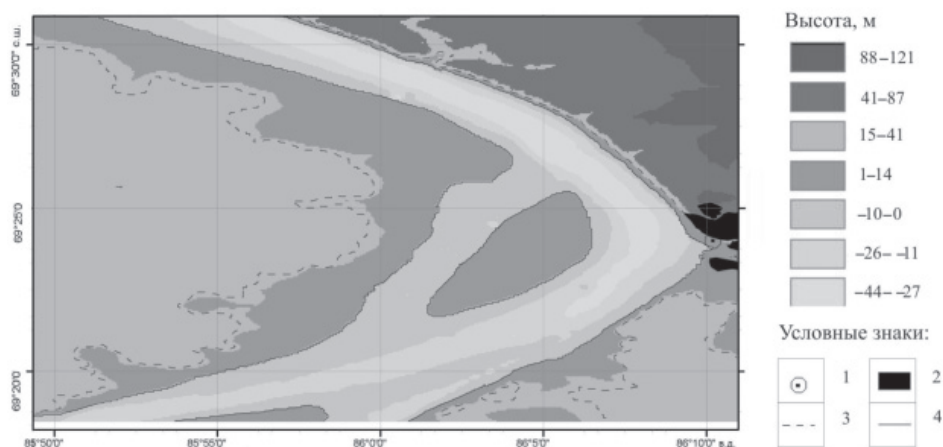


Рис. 3. Площади затопления прибрежной территории в районе порта при различных уровнях поста г/п Дудинка: 1 – гидрологический пост Дудинка, 2 – постройки, 3 – площадь затопления при уровне 1851 см над нулем поста Дудинка, 4 – береговая линия

тории равна 1012 км²) и представлены в табл. 2. На рис. 3 представлены области затопления при уровне 1851 см над нулем поста.

Оценка площади затопления представляет особый интерес при наличии социально-экономической инфраструктуры, попадающей в зону затопления [1]. Использование предложенной технологии для формирования превентивных мер предполагает наличие прогностической информации.

ВЫВОДЫ

Рассмотрена технология картирования площадей затопления прибрежных территорий в районе порта Дудинка на участке р. Енисей протяженностью 23 км, на основе использования модуля *Spatial Analyst* ГИС.

Рассмотрена технология построения цифровой модели рельефа на основе данных о рельефе прибрежной территории и глубинах русловой части, полученных с лоцманских карт масштаба 1:25000 и 1:50000, и с использованием ЦМР

SRTM и *ASTER*. Анализ показал, что отметки высот с карты масштаба 1:25000 лучше соответствуют данным *SRTM*, хотя пространственное разрешение данных невелико по сравнению с данными *ASTER*. На основе высотных отметок *SRTM* и данных лоцманской карты масштаба 1:25000 получена гибридная цифровая модель рельефа, которая использована для картирования площадей затопления в районе г/п Дудинка. Использование данных *SRTM* в качестве дополнительного источника о топографии местности ограничивает практическую ценность полученной гибридной ЦМР. Однако при наличии более точных отметок рельефа (например, с карты) результат может быть улучшен при необходимости.

Проанализированы данные многолетних наблюдений за максимальными уровнями воды на гидрологическом посту Дудинка и рассчитаны величины малых обеспеченностей. Показана возможность использования РГИС для оценки площадей затопления при максимальных уровнях малой обеспеченности.

Работа выполнена в рамках программы подготовки молодых специалистов Арктического и антарктического научно-исследовательского института.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочетков В.В., Беликов В.В., Борисова Н.М., Ковалев С.В. Применение ГИС-технологий и специализированных баз данных при численном моделировании экстремальных затоплений поймы Нижнего Дона // Международная конференция «Управление водно-ресурсными системами в экстремальных условиях»: 4–5 июня 2008 г.: Сб. докладов. М., 2008. С. 121–126.
2. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. М.: Наука. 1971. 576 с.
3. Река Енисей. От острова Малый Леонтьевский до острова Грибановский: Карта масштаба 1:50000. М.: Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны СССР. 1992. 1 с.
4. Река. Енисей. Подходы к порту Дудинка: Карта масштаба 1:25000. М.: Главное управление навигации и океанографии Министерства обороны СССР, 1991. 1 с.
5. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой, 2004. 74 с.
6. ArcGIS 9. Using ArcGIS 3D-Analyst. New York: ESRI Press, 2000–2004. 363 p.
7. ASTER DEM // [Электронный ресурс]: ASTER DEM, 2009. Режим доступа: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp>. Свободный. На англ. яз.
8. ASTER DEM README // [Электронный ресурс]: ASTER DEM, 2009. Режим доступа: http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/image/ASTER/20GDEM/Readme_Ev1.0.pdf. Свободный. На англ. яз.
9. Farr T.G., Rosen P.A. et al. The Shuttle Radar Topography Mission. // Rev. Geophys. 2007. Vol. 45. RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
10. Johnston K., Ver Hoef J.M., Krivoruchko K., Lucas N. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. New York: ESRI Press, 2001. 316 p.
11. Rodriguez E., Morris C.S. et al. An assessment of the SRTM topographic products // JPL Pub. 2005. D31639: 143.
12. SRTM // [Электронный ресурс]: SRTM, 2005. Режим доступа: <http://www.viewfinderpanoramas.org/dem3.html>. Свободный. На англ. яз.

E.V.SHEVNINA, V.P.SOBOLEVA

ASSESSMENT OF THE FLOOD INUNDATION AREA OF PORT OF DUDINKA BASED ON GIS TECHNOLOGY

A GIS-based technology of estimation of flooded area is presented in the paper. Using of presented technology shown on the port of Dudinka territory.

Keywords: maximum water levels, mapping of flood inundation area, technology.