

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 504.05

А.Б. Голубева, В.А. Земцов

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ И РИСКОВ НАВОДНЕНИЙ В г. БАРНАУЛЕ (пос. ЗАТОН)

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Современные географические процессы Сибири: динамика, закономерности развития и экологические аспекты» (соглашение № 14.В37.21.2025 от 14.11.2012 г.) в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

Дается оценка опасности и рисков наводнений на примере р. Обь около Барнаула. Определена методика исследования опасности затопления территории, наиболее подходящая для локального масштаба. На основе статистического анализа вычислены максимальные уровни половодья р. Обь в Барнауле малой обеспеченности. Методом картографического моделирования определены границы зон затопления при наводнениях с максимальными уровнями воды разной расчетной обеспеченности. Проведённые расчёты проверены с помощью метода реального года на примере половодья 2010 г. В результате исследования получена оценка исследуемой территории по степени опасности затопления, социального и экономического риска наводнений.

Ключевые слова: наводнения; оценка опасности; оценка риска; цифровая модель рельефа; определение границ зон затопления.

Введение

Одним из приоритетных направлений в области практической гидрологии является изучение опасных природных процессов и явлений (ОПЯ). Наводнение – это одно из наиболее опасных явлений, вызывающих чрезвычайные ситуации и причиняющих материальный ущерб промышленным и сельскохозяйственным объектам, населению, наносящих урон здоровью людей и приводящих к их гибели. На территории Обь-Иртышского бассейна наиболее часты наводнения, вызванные половодьями, паводками, заторными и зажорными явлениями.

Для Барнаула наводнения являются опасной проблемой и приносят наибольший ущерб. Около 10% территории города подвергается систематическому затоплению и подтоплению в период половодья на Оби. Только в 2001 г. ущерб от наводнения составил 25,6 млн руб. [1]. По существующим оценкам, затраты на прогнозирование и обеспечение готовности к природным событиям чрезвычайного характера в 15 раз меньше величины возможного ущерба.

Около Барнаула опасный уровень воды в 500 см над нулем водомерного поста за период с 1937 по 2011 г. превышался 50 раз. В этот же период 40 раз был превышен критический уровень воды (520 см), в результате чего происходило затопление поселков Затон и Ильича. Наводнения разной интенсивности периодически приводят к затоплению земель и расположенных на них строений и инженерных сооружений.

Однако с точки зрения хозяйственной деятельности прибрежные территории были и остаются наиболее привлекательными для освоения. Таким образом, встаёт вопрос о приемлемом уровне риска и ущерба, с которым общество готово согласиться для своего экономического развития. В данном исследовании мы используем понятия «опасность» и «риск», которые определяются следующим образом: опасность – это процесс, свойство или состояние природы или техники, представляющее угрозу для жизни или благосостояния людей, объектов, а риск – угроза наступления в любой

системе негативного события с определёнными во времени и пространстве последствиями [2].

При изучении вопросов, связанных с оценкой опасностей и рисков наводнений, для принятия управленческих решений на разных уровнях законодательной и исполнительной власти существует необходимость использования картографических материалов. Как правило, непосредственное изучение этих опасных явлений затруднительно, а в некоторых случаях и невозможно, поэтому метод картографического моделирования является не только приемлемым, но и оптимальным.

Территория исследования

Город Барнаул находится в лесостепной зоне Запдно-Сибирской равнины, на северо-востоке Приобского плато, в верхнем течении Оби, в месте впадения в нее р. Барнаулка. Основная часть города расположена на левом берегу р. Обь, а незначительная территория (пос. Затон) – в пойме на правом берегу. Рельеф территории определяется расположением города на Приобском плато и в долинах Оби и Барнаулки.

Площадь бассейна Оби до водпоста в Барнауле составляет 169 000 км². Максимальные расходы воды в реке наблюдаются в период весенне-летнего половодья и, по данным наблюдений, изменяются в пределах от 3 370 м³/с в 1953 г. до 12 600 м³/с в 1969 г. Кроме 1969 г., высокие расходы воды отмечались в 1936 (7 950), 1937 (9 690 м³/с), 1958 (7 410 м³/с), 1966 (8 060) гг. Во все эти годы происходило затопление поймы.

Около Барнаула р. Обь имеет смешанное водное питание и, как следствие, сложный гидрограф. Причиной этого является то, что Обь образуется от слияния горных рек Бия и Катунь и ее режим отражает в основном условия формирования стока в Горном Алтае и в меньшей степени – на равнинной части водосбора.

Методы исследования, оценка опасности и риска

Общая методология оценки опасностей и рисков от ОПЯ основывается:

- на выявлении физических характеристик опасностей (показатели опасности);
- расчёте вероятностей их возникновения;
- определении зон поражения;
- расчёте возможных потерь (социальных, экономических и т.д.).

Для характеристики опасности наводнений используют следующие показатели: повторяемость (частота) превышения критического уровня воды в реке во время половодья или паводка, мощность паводка (определяемая превышением максимальных зафиксированных уровней воды над критическим уровнем), максимальное время стояния воды выше критического уровня за год (в сутках), площадь затопления прибрежных территорий [3]. Представляют интерес и такие частные гидрологические показатели, как, например, расположение участков русла, где вода выходит на пойму, интенсивность подъема уровня воды при затоплении, направление и наибольшие скорости течения воды на затопленных участках.

Река Обь у Барнаула имеет растянутое весенне-летнее половодье с двумя характерными пиками: в апреле (формируется притоками с равнинной части бассейна) и в июне – июле (за счет более многоводных притоков с горной территории). Для оценки уровенного режима р. Обь у Барнаула нами использовались данные об ежедневных уровнях воды в период половодья на водомерном посту Барнаула за однородный период с 1985 по 2011 г.

Анализ гидрографов Оби за этот период времени показал (табл. 1), что начинается половодье в первых числах апреля и продолжается до середины мая – в это время проходит его первый пик. Средние даты критических максимальных уровней – с 20 апреля по 5 мая. Приблизительно с 15 мая начинается второй пик половодья. Средние даты критических уровней воды второго пика половодья приходятся на конец мая – начало июня. Второй пик заканчивается в третьей декаде июня. Наблюдающиеся поздние дождевые паводки, как правило, не приводят к критическому превышению уровня воды в реке, однако дожди часто вызывают подъем уровня грунтовых вод и подтопление территории. Средняя продолжительность первой волны половодья составляет 28 дней, а второй волны – 56 дней.

За 27 лет, с 1985 по 2011 г., опасный уровень воды у Барнаула в 500 см над нулем водомерного поста превышался 18 раз (1985, 1987, 1989, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007, 2010 и 2011 гг.), а критический уровень воды в 520 см был превышен 14 раз (в 1987, 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 2001, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007, 2010 и 2011 гг.), в результате чего происходило затопление поселков Затон и Ильича. За указанный период пять раз (в 1993, 1995, 2001, 2006 и 2010 гг.) наблюдалось превышение уровня воды в реке над отметкой 600 см над нулем поста, приводившее к затоплению значительной части города (см. табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Анализ половодий р. Обь около Барнаула с 1985 по 2011 г.

Год	Первая волна половодья				Вторая волна половодья			
	Дата прохождения	Продолжительность, дни	Максимальный уровень воды, см	Превышение уровня 520 см, см	Дата прохождения	Продолжительность, дни	Максимальный уровень воды, см	Превышение уровня 520 см, см
1985	5.04 – 30.04	25	516	– *	22.05 – 20.07	60	519	–
1986	8.04 – 2.05	24	492	–	3.05 – 18.06	47	495	–
1987	10.04 – 6.05	26	442	–	15.05 – 30.06	47	558	38
1988	8.04 – 16.05	38	489	–	18.05 – 2.07	46	492	–
1989	1.04 – 23.04	22	400	–	4.05 – 30.06	58	510	–
1990	1.04 – 7.05	36	385	–	8.05 – 22.06	46	477	–
1991	10.04 – 10.05	30	529	9	12.05 – 5.06	25	511	–
1992	13.04 – 11.05	28	488	–	19.05 – 25.06	38	550	30
1993	11.04 – 11.05	30	504	–	26.05 – 14.07	50	633	113
1994	1.04 – 7.05	36	371	–	8.05 – 28.06	52	554	34
1995	1.04 – 27.04	26	445	–	7.05 – 30.07	85	603	83
1996	16.04 – 7.05	21	463	–	22.05 – 19.07	59	501	–
1997	1.04 – 3.05	32	472	–	3.05 – 13.06	42	476	–
1998	11.04 – 28.04	17	395	–	29.04 – 14.07	77	438	–
1999	10.04 – 29.04	19	367	–	30.04 – 12.07	65	462	–
2000	1.04 – 30.04	29	418	–	7.05 – 27.07	82	517	–
2001	1.04 – 7.05	26	502	–	9.05 – 3.07	56	637	117
2002	1.04 – 11.05	40	393	–	12.05 – 26.07	76	526	6
2003	10.04 – 11.05	31	484	–	2.06 – 26.06	24	426	–
2004	3.04 – 7.05	35	570	50	16.05 – 1.07	47	587	57
2005	13.04 – 23.05	41	548	28	4.06 – 12.07	39	487	–
2006	16.04 – 15.05	30	593	73	16.05 – 9.07	55	601	81
2007	4.04 – 1.05	27	423	–	17.05 – 4.07	48	577	57
2008	3.04 – 8.05	36	377	–	13.05 – 20.06	39	449	–
2009	6.04 – 14.05	39	442	–	17.05 – 19.07	64	482	–
2010	16.04 – 20.05	35	590	70	23.05 – 20.07	59	643	123
2011	3.04 – 16.05	44	545	45	18.05 – 16.07	60	405	–

* Превышения критического уровня в 520 см не было.

Перед проведением основных расчётов гидрологические ряды максимальных уровней воды (наблюдения за уровнями воды ведутся с 1937 г.) проверены на од-

нородность при помощи критериев однородности выборочных дисперсий (Фишера) и средних значений (Стьюдента) [4].

В качестве однородного выбран 42-летний период с 1970 по 2011 г.

Определение вероятностей возникновения максимальных уровней по кривой обеспеченности выполнено с использованием программы «Гидростатистика» [5] (табл. 2). Расчеты проведены графоаналитическим методом подбора аналитической кривой обеспеченности,

так как на практике он дает лучшее совпадение теоретической кривой с эмпирической.

Расчёты выполнены по максимальным уровням воды на водпосту Барнаула с 1970 по 2011 г. Уровни воды обеспеченностью более 50% далее не рассматривались, так как они не представляют опасности с точки зрения затопления территории.

Т а б л и ц а 2

Определение ординат аналитических кривых распределения вероятностей ряда максимальных годовых уровней воды (р. Обь – г. Барнаул)

Р, %	1	2,33*	5	10	25	50
Уровень, см	658	643	621	597	564	530
Уровень с учётом уклона в пос. Затон**	672	657	635	611	578	544
Уровень, м БС	134,61	134,46	134,24	133,99	133,67	133,33

* Уровень затопления при наводнении 2010 г.; ** уклон поверхности воды 7 см/км.

Для уточнения границ участков, испытывающих систематическое затопление, определены границы зон затопления при уровнях половодья с заданной расчетной обеспеченностью 1; 2,33; 5; 10; 25 и 50%. Для каждого наводнения с максимальным уровнем воды заданной обеспеченности на основе материалов режимных наблюдений прорабатывается сценарий развития событий. Дальнейший алгоритм работы был следующим.

Для определения зон затопления на локальном уровне использовался метод картографического мо-

делирования [6]. Он позволяет при наличии общедоступной статистической и картографической информации рассчитывать значения необходимых показателей по всей исследуемой территории на основе дискретно распределенных данных. Для этого используются методы геостатистического анализа, в основе которых лежат интерполяция, экстраполяция, аппроксимация данных и различные способы картографического изображения, основанные на классификации данных.

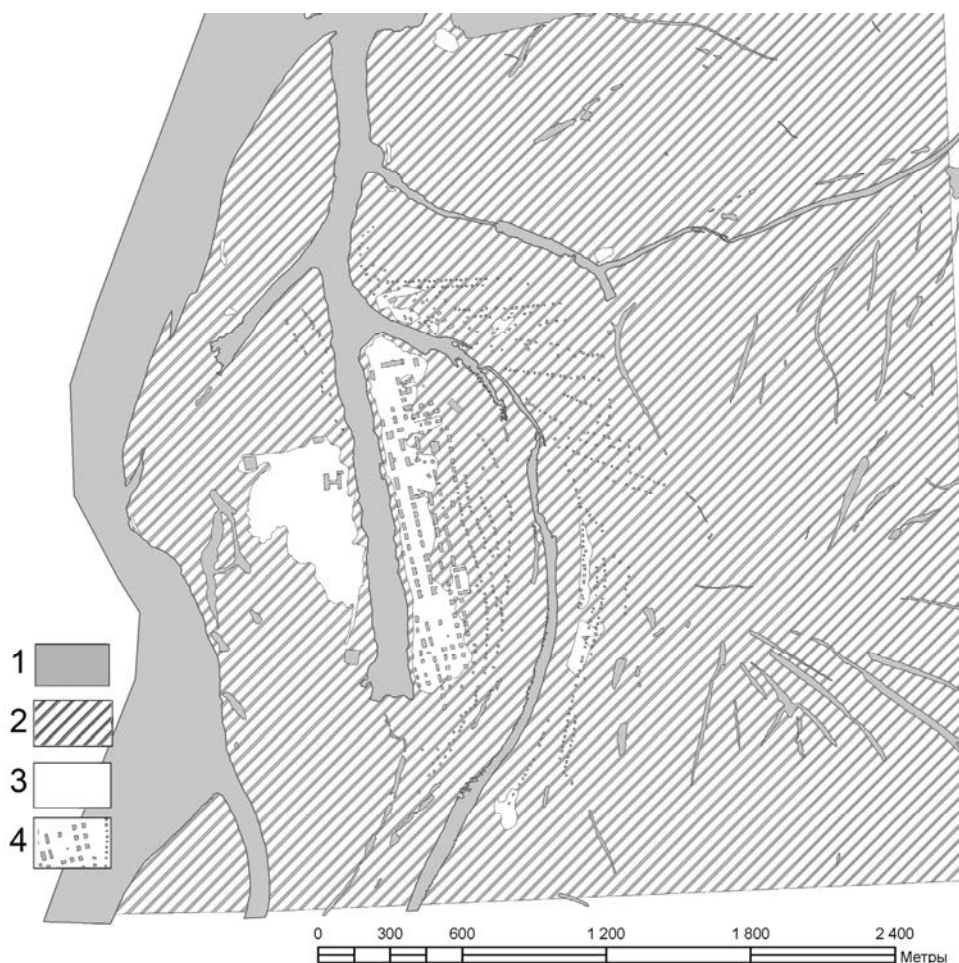


Рис. 1. Зона затопления пос. Затон при максимальном уровне воды р. Обь у Барнаула обеспеченностью 1%. Условные обозначения: 1 – гидросеть; 2 – затопленная территория; 3 – незатопленная территория; 4 – строения жилые и нежилые

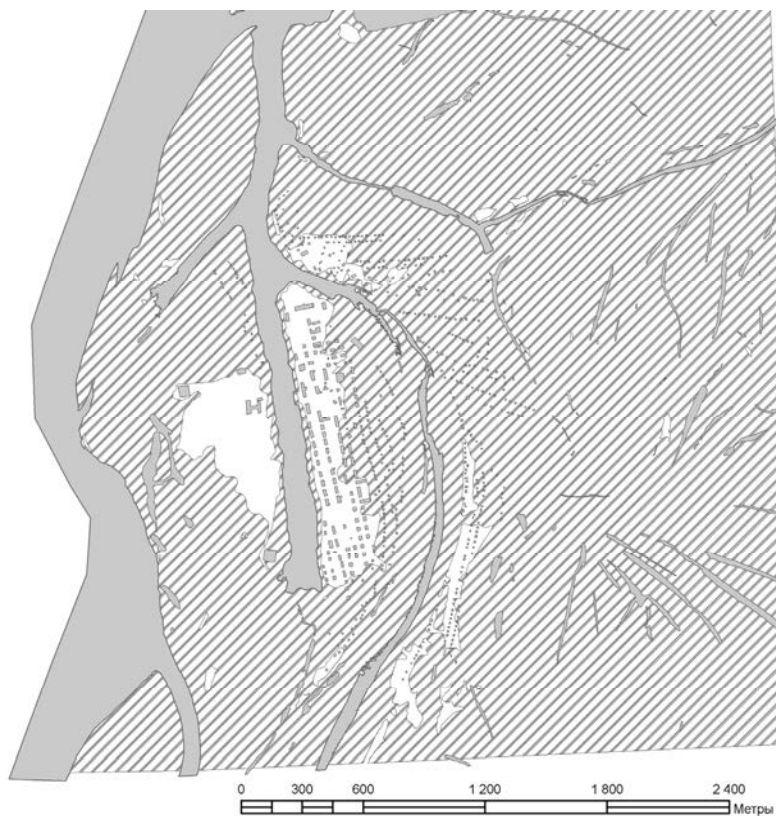


Рис. 2. Зона затопления пос. Затон при максимальном уровне воды р. Обь у Барнаула обеспеченностью 2,33% (условные обозначения см. на рис. 1)

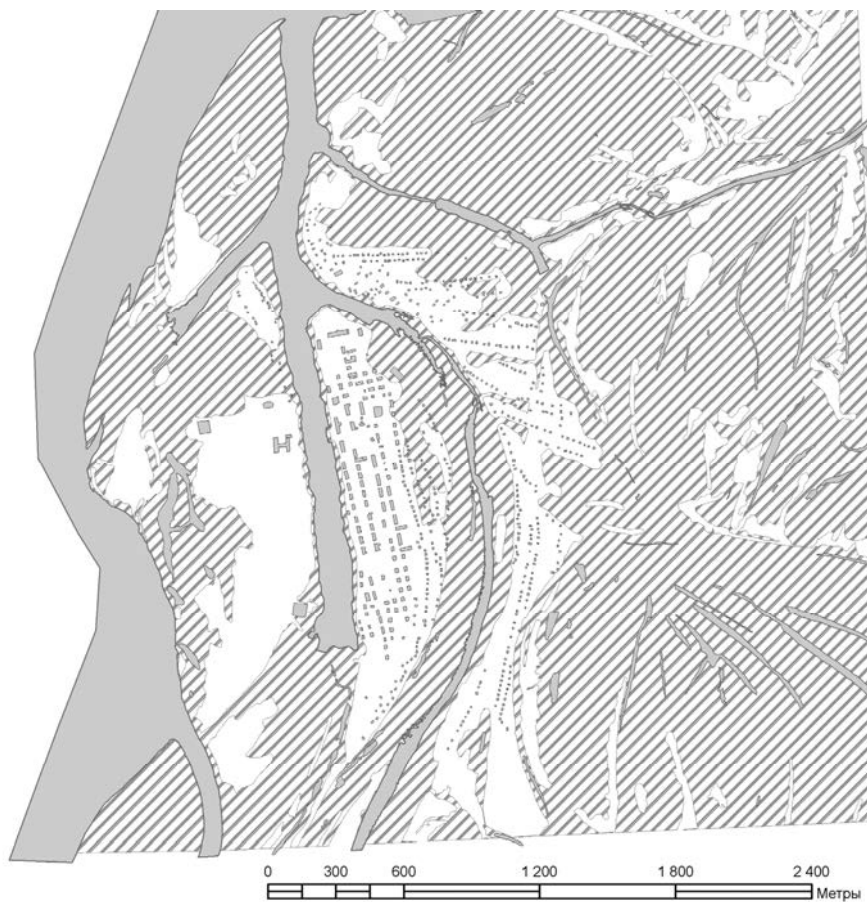


Рис. 3. Зона затопления пос. Затон при максимальном уровне воды р. Обь у Барнаула обеспеченностью 25% (условные обозначения см. на рис. 1)

Расчёт ущерба и рисков наводнений

P, %	Кол-во населения в зоне затопления, чел.	Социальный риск, чел/год	Кол-во жилых строений в зоне затопления	Кол-во нежилых строений в зоне затопления	Экономический ущерб, тыс. руб.	Экономический риск, тыс. руб./год*
1	2547	25,47	512	11	100 000*	1 000
2,33	2178	50,74	431	5	95 000	2 213,5
5	1822	91,1	388	4	40 000	2 000
10	648	64,8	141	3	17 000	1 700
25	342	85,5	76	3	5 000	1 250
50	54	27	12	2	2 000	1 000

* по состоянию на 2010 г.

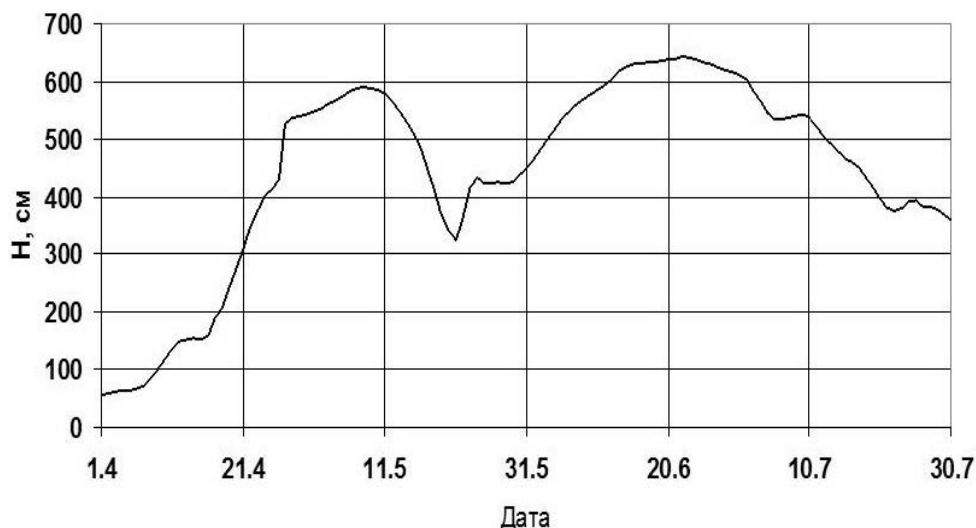


Рис. 4. Ход уровня воды р. Обь у Барнаула в половодье с 1.04. по 30.07. 2010 г.

Моделирование позволяет с учетом разных факторов выполнить комплексную оценку и провести районирование территории по ее пригодности для проживания и хозяйственной деятельности людей [6].

В среде ArcGIS на основе плана города в масштабе 1 : 2 000 (шаг между горизонталями 0,5 м) была создана цифровая модель рельефа (ЦМР). После определения зон затопления по уровням расчетной обеспеченности на ЦМР можно выделить объекты инфраструктуры (дома, дороги, мосты, ЛЭП и др.), попадающие в эти зоны, и количество человек, проживающих в их пределах.

Эти данные составляют основу для расчёта ущерба и дальнейшей оценки экономического и социального риска.

По данным за 2010 г., население пос. Затон составляло 3 150 человек. Зная количество жилых домов и количество проживающих в них людей, вычисляем численность населения, попадающего в зоны затопления, и показатели социального риска (см. рис. 1–3; табл. 3).

Наиболее сложным является расчёт экономического ущерба. Каждый год меняются стоимость основных фондов, стоимость земель, затраты на восстановление ЛЭП и дорог, единовременные выплаты гражданам и т.п. После каждого наводнения Управление по делам ГО и ЧС Барнаула рассчитывает ущербы, и, зная, каким уровням воды в реке соответствуют их размеры, можно построить кривую ущербов, выражающую зависимость между уровнем воды и величиной ущерба.

Результаты расчётов в сопоставимых ценах, по данным Управления по делам ГО и ЧС, приведены в табл. 3. Ущерб, примерно соответствующий уровням воды, превышающим максимальный уровень 25%-ной обеспеченности, становятся практически неприемлемыми по экономическим соображениям.

Проведённые таким образом расчёты проверим, используя метод реального года. Из общего количества лет, которые приняты для расчета, в 2010 г. наблюдался наибольший максимальный уровень воды 643 см, что соответствует обеспеченности 2,33%. Половодье 2010 г. отличалось весьма высокой водностью – обе волны половодья существенно превышали критический уровень (см. рис. 4). Этому способствовали следующие факторы:

- позднее формирование снежного покрова осенью предшествующего 2009 г., вследствие чего произошло глубокое промерзание грунтов;
- многоснежная зима 2009–2010 гг.;
- высокие температуры воздуха в период снеготаяния, наблюдавшиеся как в бассейнах равнинных рек, так и в горах Алтая, что определило дружный характер поступления талых вод в реки.

Границы рассчитанной по высотным отметкам рельефа зоны затопления 2010 г. нанесены на космический снимок, дата съёмки которого соответствует времени максимального затопления. Границы расчетной зоны затопления и зоны затопления на космоснимке практически совпали, что подтвердило достоверность проведённых исследований.

На основании вышесказанного можно сделать следующие выводы.

Метод картографического моделирования является оптимальным при определении территории затопления, однако его применение возможно только при наличии точной ЦМР (при использовании грубой ЦМР погрешность в проведении границ увеличивается).

Проведённые исследования показали, что затопление посёлка Затон происходит не только со стороны р. Обь и через ее протоки, но и со стороны поймы. Таким образом, дамбы у проток при больших наводнениях не полностью защищают территорию посёлка от затопления.

Заселение территорий, расположенных ниже уровня затопления, соответствующего максимальному уровню обеспеченности около 25%, оказалось экономически нецелесообразным. Риск затопления для таких территорий слишком велик и является недопустимым. Для уменьшения риска рекомендуется провести расселение людей за пределы подверженной такому затоплению территории.

Результаты работ по определению границ территории с высоким экономическим и социальным риском затопления могут найти применение при экономическом планировании, планировании застройки города, в том числе для создания системы поддержки принятия решений, а также выработки рекомендаций для администрации города.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Безопасность населения и территорий Алтайского края* : крат. справ. / В.Н. Белоусов и др. ; Комиссия по чрезвычайным ситуациям и обеспечению пожарной безопасности Алтай. края. Барнаул : Азбука, 2006. Ч. 1 : Основы природно-техногенной безопасности. 2006. 317 с.
2. *Природные опасности России*. Т. 6 : Оценка и управление природными рисками / под ред. А.Л. Рагозина. М. : КРУК, 2003. 320 с.
3. *Природные опасности России*. Т. 5 : Гидрометеорологические опасности / под ред. Г.С. Голицына, А.А. Васильева. М. : КРУК, 2002. 348 с.
4. *СП 33-101-2003*. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчётных гидрологических характеристик. М. : Госстрой России, 2004. 72 с.
5. *Расчет аналитических кривых обеспеченности (Гидростатистика)*: свидетельство № 200060667 Рос. Федерация / В.А. Жоров, Е.К. Воробьев, О.В. Ловцкая, С.Г. Яковченко; правообладатель Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук. Заявка № 2000610563; зарегистрирована в Реестре программ для ЭВМ 20.07.2000.
6. *Основы геоинформатики* : в 2 кн. Кн. 1 : Учебное пособие для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др. ; под ред. В.С. Тикунова. М. : Академия, 2004. 352 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 30 апреля 2013 г.