

УДК 504.06:556.166

ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММЫ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОД В БАССЕЙНЕ РЕКИ СЕЛЕНГИ

© 2016 г. Е.Ж. Гармаев, Т.А. Борисова

*ФГБУН «Байкальский институт природопользования Сибирского
отделения Российской академии наук», г. Улан-Удэ, Россия*

Ключевые слова: наводнение, берегообрушение, негативное воздействие вод, моделирование зон затопления, расчет зон берегообрушения, ущерб от наводнений, инженерная защита от негативного воздействия вод.



Е.Ж. Гармаев



Т.А. Борисова

Представлены результаты исследований негативного воздействия вод в бассейне р. Селенги и разработки рекомендаций проведения мероприятий по инженерной защите населения и хозяйственных объектов на примере наиболее потенциально опасных рек – Селенги и ее главного притока Чикой. Рассмотрены результаты рекогносцировочных обследований территории по выявлению проблем и участков негативного воздействия вод, существующей системы защиты с оценкой ее

эффективности. Определены масштабы негативного воздействия вод и перечень хозяйственных объектов в пределах населенных пунктов на основе проведенного моделирования зон затопления при расчетных уровнях воды заданной вероятности превышения. Показаны оценки ущербов от паводковых наводнений 1 % обеспеченности, максимальных заторных уровнях и берегообрушения.

Разработаны и обоснованы рекомендации и мероприятия по защите селитебных территорий в результате совокупного анализа всех полученных количественных показателей с оценкой их целесообразности и экономической эффективности, что позволило сформировать программу мероприятий по очередности и приоритетности их реализации для минимизации негативного воздействия вод.

Наводнения в России, как и во всем мире, являются одним из наиболее распространенных опасных гидрологических явлений, представляющих угрозу жизни человека и несущих значительные экономические ущербы. Последние события в разных регионах нашей страны, создавшие чрезвычайные ситуации федерального уровня, нанесли экономике государства колоссальные убытки. Но, несмотря на огромную значимость существующей

Водное хозяйство России № 2, 2016 г.

ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО РОССИИ

проблемы и проводимые исследования, итоги катастрофических ситуаций свидетельствуют о недостаточной гидрологической изученности ряда потенциально опасных рек. Кроме того, анализ хронологии каждого стихийного бедствия свидетельствует о неготовности соответствующих структур в полной мере к предупреждению и прогнозированию, а также совершенной защите населения от негативного воздействия вод [1, 2].

Для решения данной проблемы в первую очередь необходимо детальное обследование крупных речных бассейнов с целью изучения закономерностей и факторов формирования наводнений, механизма их развития с расчетами зон затоплений и возможных ущербов. Результаты таких исследований не только позволят достоверно определить территории, периодически подвергаемые затоплению и подтоплению, но и разработать систему их защиты от негативного воздействия вод. При этом современные технологические решения, а именно – информатизация полученных данных с возможностью моделирования процесса в развитии, станут объективной информационной базой для управления и принятия оперативных грамотных решений по своевременному предупреждению, снижению социальных и экономических потерь от негативного воздействия вод и перспективному развитию территории.

Река Селенга является самой крупной рекой бассейна оз. Байкал. Она протекает по территории двух государств, площадь водосбора 447 тыс. км². На Россию приходится почти 148 тыс. км², то есть 33 % площади бассейна. Однако при общем годовом стоке реки 30 км³, более половины (15,4 км³) формируется в российской части бассейна. Бассейн Селенги – наиболее освоенная и заселенная территория региона, где река играет весьма существенную роль в социально-экономическом развитии и России, и Монголии [3].

Селенга относится к рекам с весьма высокой вероятностью наводнений. Архивные, литературные, исторические материалы свидетельствуют о периодических наводнениях на реках бассейна. Так, по сведениям Б.Д. Зайкова [4], в 1785 г. на «...духов день от внезапной прибыли воды в р. Чикое выступила из берегов р. Селенга и отмыла целый квартал города...». В 1830 г. наводнение «...от прибыли воды в р. Селенге доходило до значительных размеров; отмыло большую часть правого берега, снесло многие дома. К тому же присоединились наводнения горных потоков от проливных дождей...». Наводнения 1867, 1869, 1897 гг. были вызваны обильными дождями. Как отмечается в первоисточнике, в 1869 году г. Верхнеудинск (ныне Улан-Удэ) был почти весь затоплен: «...Немалое участие в подтоплении города принимала почвенная вода: вода в колодцах переполнилась и, выступая за края, заливала дворы так, что задняя часть города, примыкаю-

щая к высокому песчаному увалу, окаймляющему город с севера-востока, была затоплена раньше, чем подошла вода из р. Селенги...».

За последние 100 лет прослеживается серия катастрофических наводнений: 1908, 1932, 1936, 1940, 1971, 1973 и ряд значительных – 1931, 1938, 1942 и 1990 гг. Исторически сложившаяся тенденция расселения вдоль рек на прибрежных территориях предопределяет высокую подверженность целого ряда поселений и г. Улан-Удэ периодическим затоплениям и подтоплениям. Наиболее высокие наводнения зарегистрированы в 1971 и 1973 гг., в результате которых была полностью парализована южная часть региона, нарушена связь со многими районами, повреждены хозяйственные и бытовые объекты – мосты, дороги, линии связи и электропередач, часть населения осталась без жилья. Колоссальные ущербы нанесены сельскохозяйственной отрасли. Сильно пострадала левобережная часть г. Улан-Удэ, был закрыт аэропорт, потребовалась дополнительная очистка воды. По официальной статистике наносимые размеры ущербов только для Бурятии в 1971 г. достигали 1,4 млрд руб., в 1973 г. – 0,7 млрд руб. (цены периода прохождения наводнений) [5, 6]. Представленные цифры отражают лишь прямые потери для экономики республики без учета значительных экологических ущербов от подмыва полигонов бытовых отходов, кладбищ, скотомогильников и др. Следует обратить особое внимание, что р. Селенга, несущая свои воды в оз. Байкал, в период наводнений подвергает высокому экологическому риску чистоту и безопасность уникального озера. Таким образом, актуальность данной проблемы бесспорна и приобретает особую значимость для оз. Байкал, а также приграничных территорий вследствие высокой вероятности возникновения не только чрезвычайных ситуаций федерального уровня, но и межгосударственных конфликтов.

В связи с вышеизложенным для решения данных проблем и обеспечения безопасности жизнедеятельности, минимизации рисков гидрологического характера необходимо детальное комплексное изучение водного режима и русловых процессов в бассейне р. Селенги. Постановка данной цели предполагает выполнение ряда задач, прежде всего – выявления участков негативного воздействия вод и степени его опасности в конкретных населенных пунктах и разработки на основании полученных промежуточных результатов обоснованных рекомендаций и мероприятий по предотвращению ущербов и защите населения. Итог работы – формирование программы реализации предлагаемых мероприятий. Объектом для исследования определены наиболее потенциально опасные реки Селенга и Чикой, на прибрежных территориях которых расположены 77 населенных пунктов, в том числе г. Улан-Удэ.

Исследование выполнено в рамках Федеральной целевой программы Государственный контракт № И-12-71 «Исследование, прогноз простран-

ственного распределения характеристик водного стока бассейна трансграничных рек Селенга и Чикой и разработка рекомендаций по предотвращению вредного воздействия вод». В данной статье представлены результаты, полученные в ходе выполнения работы, представляющие как научный, так и большой практический интерес. Акцент сделан на обосновании и формировании итоговой программы реализации предложенных мероприятий.

Исходной информацией для исследования послужили многолетние данные по гидрологическим постам уровня режима в динамике с 1936 г. максимальных расходов, интенсивности подъема и спада воды, продолжительности стояния высоких отметок. Используются справочные материалы по численности населения, размещению промышленных и бытовых объектов, уточненные в администрациях поселений, а также общие сведения и факты о наводнениях из отчетов МЧС, Бурятского республиканского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Территориального отдела водных ресурсов по Республике Бурятия, статистических сборников и литературных источников. Картографической базой являлась топографическая основа масштаба 1:100 000, в пределах населенных пунктов – 1:25 000, космоснимки высокого разрешения, тематические картографические материалы, лоции. В процессе работы весь объем полученной информации был систематизирован и сформирован в единую базу разносторонних гидрологических данных, необходимую для анализа и последующих расчетов.

Достоверность данного исследования определяется, в первую очередь, детальными натурными обследованиями населенных пунктов с выявлением расположенных в непосредственной близости к руслу реки хозяйственных объектов, инвентаризацией существующих защитных сооружений. Ряд последовательных операций, предполагающих гидроморфологические изыскания, гидрологические расчеты, моделирование зон затопления, расчеты возможных ущербов, обоснование системы защиты для поселений в конечном итоге позволил сформировать программу по снижению негативного воздействия вод на рассматриваемой территории. Каждая операция выполнена соответствующими методическими подходами и приемами с использованием современных программных комплексов.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАВОДНЕНИЙ В БАССЕЙНЕ СЕЛЕНГИ

Повышения уровней и расходов воды регистрируются во время весенних половодий и летних дождевых паводков. Вскрытие рек нередко сопровождается заторными явлениями, ведущими к резким кратковременным подъемам воды. Высокое половодье для бассейна р. Селенги обычно не характерно, однако в отдельные годы на некоторых реках отмечаются смешанные половодно-паводковые наводнения, в большинстве случаев

небольшие. Дождевые паводки наблюдаются в течение всего лета, из них высокие – в июле-августе, нередко приводящие к значительным разливам. Для горных притоков свойственны селевые паводки [3].

Анализ повторяемости по генезису подтверждает преобладание на реках бассейна Селенги паводковых наводнений (61–90 %) и незначительно – половодно-паводковых (до 10 %). На локальных участках рек, зажимах, сужениях русел природного и антропогенного характера возможны заторные наводнения и крайне редко незначительные зазорные (рис. 1) [5, 6].



Паводковые наводнения несут наиболее катастрофический характер, в них участвует большинство основных притоков Селенги с поражением обширных территорий. По проведенным расчетам [4] затоплению может подвергаться 3,4 % площади бассейна и 9,5 % земель сельскохозяйственного назначения. Горный рельеф, значительные уклоны определяют резкий подъем воды. Так, при прохождении наивысшего за 70 лет паводка на р. Джида (1971 г.) максимальная интенсивность составляла 4,57 м/сут (уровенный гидрологический пост (г/п) Хамней) на р. Чикой (1973 г.) – 1,88 м/сут (г/п Поворот). Быстрые подъемы уровней ряда горных притоков связаны также с их расположением в зоне многолетнемерзлых пород, значительно ослабляющих инфильтрационную способность грунтов. Спад происходит медленнее, в среднем 0,3–0,5 м/сут. Высота слоя воды на пойме зависит как от силы наводнения, так и от ряда гидрологических и морфологических характеристик реки. При больших наводнениях глубина затопления поймы в среднем достигает 1,8 – более 3 м. Исключительные подъемы уровня воды над уровнем критическим зарегистрированы

на отдельных гидрологических постах рек Джиды – г/п Хамней (437 см), Селенга – г/п Новоселенгинск (419 см), Чикой – г/п Поворот (267 см), Уда – г/п Улан-Удэ (266 см). Продолжительность стояния высоких отметок различна. Длительные разливы воды на поймах до 25–40 сут наблюдаются в долине р. Селенги, до 10–20 сут отмечаются на ее главных притоках реках Чикой, Джиды, Уда, Хилок [5].

Заторные наводнения локальны и приурочены к определенным отрезкам сужений русел или излучин. Продолжительность их обычно невелика, 2–6 дней, однако по величине они иногда превосходят паводковые.

При повышенной водности рек бассейна происходит активизация русловых процессов. Морфологические особенности русла, а также специфика строения и литологического состава берегов определяют их широкое развитие. Весьма опасные проявления обусловлены размывами береговой линии, которые создают чрезвычайные ситуации и приводят к разрушению коммуникаций, дорог, хозяйственных объектов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ многолетних гидрологических данных, результаты рекогносцировочного обследования, интервьюирования специалистов и глав администраций показали, что из 77 поселений, расположенных в непосредственной близости к водным объектам, в разной степени затоплению и подтоплению подвергается 71. В наиболее опасных зонах размещено 22 населенных пункта, в том числе и г. Улан-Удэ. Сложная ситуация выявлена на территориях, прилегающих к Улан-Удэ и крупным административным центрам, что обусловлено интенсивной застройкой в последние десятилетия частного сектора по пойме без учета затопляемости. Кроме того, на территориях семи садоводческих товариществ, входящих в границы города и периодически подвергаемых затоплению, в условиях возможности городской прописки началось стихийное заселение граждан с постоянным проживанием. В связи с этим площади территорий пригорода, а также некоторых крупных поселений расширены и приняты по реальным границам существующих застроек. Одновременно проведено обследование береговой линии. Зафиксировано, что на 24 отрезках русла в пределах поселений берег обрывистый, высотой 2,0–3,0 м, сложен рыхлыми супесчано-песчаными отложениями и сильно предрасположен к размыву.

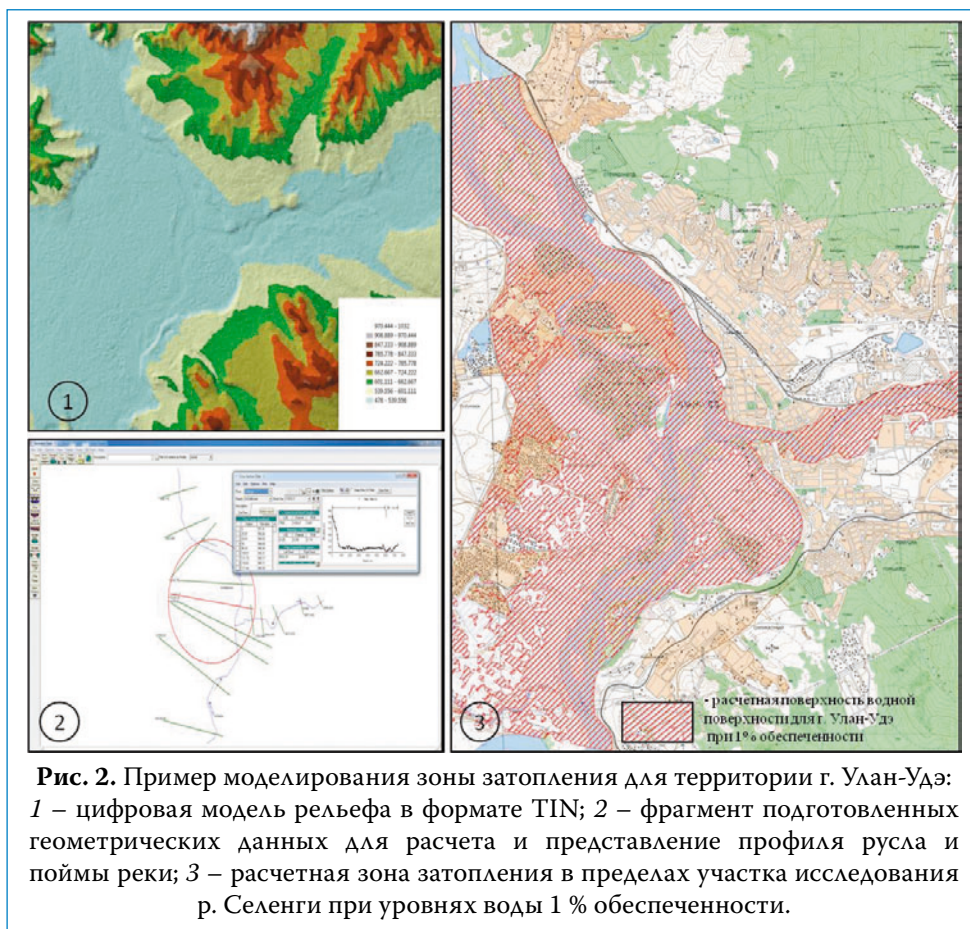
В результате проведенного анализа фондовых и других справочных материалов определено, что только для 27 поселений имеются системы защиты от затопления: 16 дамб обвалования и шесть участков берегоукрепления. Причем построенная в 1936 г. в дельте Селенги Кабанская дамба протяженностью 28,5 км является защитой для девяти поселений. Инвентаризация существующих гидротехнических сооружений показала,

что в настоящее время многие из них находятся в неудовлетворительном состоянии, требуют срочного ремонта или реконструкции. Большинство защитных сооружений было построено после крупных наводнений 1971 и 1973 гг., они находились на балансе хозяйствующих субъектов, их техническое состояние систематически отслеживалось и поддерживалось. В 1990-е годы вследствие сложившейся экономической ситуации часть из них оказалась «бесхозной», а после серии наводнений (1990, 1993, 1998 гг.) – в аварийном состоянии. За последнее десятилетие ремонтные работы производились на 10 защитных объектах: 6 дамбах и 4 участках берегоукрепления.

Очевидно, что территории 71 поселения, в том числе и г. Улан-Удэ, требуют детального изучения с определением точных границ возможного затопления и масштабов негативных последствий для обоснования конкретных мер защиты.

Важным промежуточным результатом работы стало моделирование зон затопления при расчетных уровнях воды заданной вероятности превышения, выполненное с использованием программных комплексов HEC-RAS, HEC-GeoRAS и ArcGIS [7–9]. В рамках данной статьи кратко представим ход решения задачи. Необходимыми для расчета исходными данными были морфометрические характеристики расчетных створов, расстояния между створами по руслу и оси левого и правого пойменных потоков, расчетные расходы, начальные условия уровенного режима в замыкающем створе, а также коэффициенты шероховатости. Основой для получения геометрических характеристик русла послужила цифровая модель рельефа (ЦМР), построенная на основании результатов гидроморфологических изысканий участков с разбивкой и нивелировкой морфостворов по руслу и пойме, топографических карт 1:25 000 (для Улан-Удэ 1:2000) и космических снимков по классической технологии «сканирование – векторизация – цифровая карта». Из оцифрованных горизонталей получена триангуляционная сеть (TIN), которая впоследствии переведена в регулярную сетку точек с известными и/или интерполированными значениями высоты. В итоге для точного гидрологического моделирования с учетом особенностей рельефа изучаемого района созданы корректные гипсометрические поверхности, а также линейные темы, содержащие линию русла по тальвегу и линии поперечных профилей.

Далее в процессе вычислительной поэтапной процедуры стандартным пошаговым методом получены гидравлические параметры паводкового потока в расчетных створах, зоны затопления, продольный профиль реки на рассматриваемом участке и уровни на поперечных профилях реки в расчетных створах. Полученные зоны затопления наносили на карты указанных масштабов в пределах населенных пунктов. Так, на рис. 2 графически представлен пример моделирования зоны затопления для территории г. Улан-Удэ.



В расчетах зон берегообрушения в пределах населенных пунктов применен один из наиболее часто используемых методов прогноза деформаций русел рек – прогноз развития русла на основании экстраполяции значений смещения бровок берегов, определяемый совмещением планового положения русла на основе разновременных дистанционных и картографических материалов [10, 11]. Нанесение зон берегообрушения на картографическую основу осуществлено в программе Global Mapper 14, расчет параметров – в среде ArcGis 9.3. В качестве исходного положения современного берега рек принята линия, очертания которой нанесены на векторный слой по результатам анализа космоснимков сверхвысокого пространственного разрешения (0,61 м) с учетом уточнений натурных обследований.

Таким образом, картографическое отображение зон затопления и берегообрушения позволило оценить масштабы негативного воздействия вод в

пределах населенных пунктов и определить перечень объектов различного функционального назначения. Оценка параметров выполнена на основе крупномасштабных топографических карт, космических снимков высокого разрешения, ортофотопланов населенных пунктов. Наличие объектов экономики, жилищно-коммунального хозяйства и других важных объектов уточнено с помощью генеральных планов муниципальных образований, а также в процессе рекогносцировочного обследования территории. Анализ показал, что при паводковых наводнениях 1 % обеспеченности площадь возможного затопления селитебных территорий составляет около 4,9 тыс. га, при максимальных заторных – более 230 га. Процессы берегообрушения наиболее интенсивно развиваются в пределах 24 населенных пунктов, в течение 25 лет может быть потеряно 140 га земель поселений (табл. 1, 2). В опасных зонах проживает 39 167 чел., что составляет 4,9 % населения территории бассейна Селенги.

Таблица 1. Перечень объектов в зонах затопления в пределах населенных пунктов

Наименование объектов	Параметры	
	при паводковом уровне 1 % обеспеченности	при максимальном заторном уровне
Общая площадь затопления в населенных пунктах, га	4878,54	233,24
Территория жилой застройки, в т.ч.:		
жилые дома, га	30,13	2,31
сады, огороды, приусадебные участки, га	862,45	105,8
дачи, шт.	5400	400
Объекты инженерной и транспортной инфраструктуры, в т. ч.:		
ЛЭП 10 КВт, км	17,2	0
линии связи, км	5	0
федеральная дорожная сеть, км	12,2	0,1
местная дорожная сеть, км	37,47	3,5
железная дорога, км	0	0,1
Объекты производственной и складской инфраструктуры, в т.ч.:		
производственные помещения, склады, мастерские, га	57,54	44,59
Промышленные предприятия, га	0,7	5,68
Сельскохозяйственные угодья, га	1858,47	69,9

Таблица 2. Перечень объектов в зонах берегообрушения
в пределах населенных пунктов

Наименование объектов	Расчетный период		
	5 лет	10 лет	25 лет
Общая площадь зоны берегообрушения, га	28,3845	57,7106	142,3297
Территория жилой застройки:			
жилые дома, шт.	0	5	60
хозяйственные постройки, га	0	0,1	1,7042
сады, парки, огороды, га	0,4111	1,4068	10,105
изгороди, м пог.	656,0	3236,0	11 629,32
Дорожная сеть (дороги местного значения), км	1,01	23,738	109,913
Промышленная зона, га	0,2	0,3	20,0

Расчеты ущерба выполнены по Методике оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий [12]. В работе использованы нормативные укрупненные удельные показатели стоимости ущерба, наносимого наводнениями и водной эрозией жилым домам, объектам инфраструктуры, промышленным предприятиям, коммуникациям, различным производственным и сельскохозяйственным объектам и сооружениям, а также пашне, садам, огородам и прочим сельскохозяйственным угодьям. В соответствии с методикой в расчетах применен территориальный коэффициент, учитывающий природно-климатические условия. Расчеты проведены для каждого поселения.

Результаты показали, что в целом социально-экономический ущерб от паводков 1 % обеспеченности составляет 35,6 млрд руб., в т. ч. для территорий и объектов – 32,3 млрд руб., населения – 3,2 млрд руб. Наибольшие потери могут быть нанесены г. Улан-Удэ, суммарный ущерб достигает 27,3 млрд руб., что составляет 76,8 % от общего объема. В зону затопления попадает значительная территория левобережной части города, которая в настоящее время интенсивно застраивается капитальными жилыми домами коттеджного типа. Следует отметить, что после наводнений 1971 и 1973 гг., а также серии наводнений 1990-х годов администрацией города принималось решение о запрете строительства и постепенном переселении граждан с переводом данных земель в категорию рекреационных. Однако в настоящее время это решение либо утратило силу, либо в связи с высокой стоимостью городских земель «не выгодно».

Значительные размеры ущербов также определены для ряда крупных сельских поселений и административных центров, таких как Поселье (1,4 млрд руб.), Кабанск (1,3 млрд руб.), Ильинка (1,0 млрд руб.), Сотниково (0,4 млрд руб.), Нижний Саянтуй (0,4 млрд руб.), Наушки (0,3 млрд руб.) и др. Негативному воздействию заторных наводнений подвержены территории 7 населенных пунктов. Возможные ущербы оцениваются в 1,0 млрд руб. Максимальны они для территории с. Ильинка – 0,9 млрд руб. или 75,3 % от общей суммы. Вследствие размыва и обрушения береговой линии прогнозные ущербы через 10 лет составят 45,9 млн руб., через 25 лет – 147,6 млн руб.

Рекомендации проведения мероприятий по инженерной защите от негативного воздействия вод разработаны в соответствии с положениями Водного кодекса, СНиП 2.06.15-85 (2000) «Инженерная защита территории от затопления и подтопления», СНиП-22-02-2003 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения», СНиП 33-01-2003 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» [13–16].

Определяющими критериями для обоснования являлись масштаб затопления, размеры вероятных ущербов, характер ЧС. При этом как важное условие рассмотрены тип поселения, социально экономические перспективы его развития, наличие стратегических объектов, а также объектов специального назначения, таких как скотомогильники, кладбища, свалки и др. В процессе комплексного анализа определено, что территории 52 поселений нуждаются в защите, для 19 строительство защитных сооружений нецелесообразно, из них для двух рекомендовано переселение в связи с малочисленностью и неперспективностью развития, в 17 максимальная площадь затопления не превышает 10–15 % территории села.

Исходя из существующих условий, в соответствии с нормативными документами основными средствами инженерной защиты от вредного воздействия вод предполагаются обвалование, искусственное повышение поверхности территории, регулирование и отвод поверхностного стока и др. Для полной защиты селитебных территорий предложено строительство 17 дамб обвалования, реконструкция или ремонт 11 дамб общей протяженностью более 170 км. Мероприятия по берегоукреплению (строительство и ремонт) рекомендовано провести на 18 участках береговой линии длиной 34 км, дноуглублению на двух отрезках русла – 12 км. Для расчетов стоимости защитных сооружений применены нормативные укрупненные удельные показатели стоимости строительства, реконструкции и капитального ремонта гидротехнических сооружений и проведения мероприятий по защите территорий и объектов от негативного воздействия вод водных объектов [12]. Общая стоимость проектируемых работ оценивается в 5,8 млрд руб.

Из всего перечня подверженных затоплениям и подтоплениям населенных пунктов серьезная ситуация сложилась для г. Улан-Удэ. Имеющиеся сооружения являются лишь частичной защитой территории города, в большинстве своем они выполняют специальные функции. Так, правобережные дамбы обвалования предусмотрены для защиты от затоплений территории очистных сооружений и участка центральной части Улан-Удэ с созданием городской набережной. Отрезки берегоукрепления выполнены вдоль площадки городского водозабора и участка стеколзавода, защиты для основной зоны затопления левобережной части города не имеется. С целью эффективной защиты города по результатам проведенного обследования предложен комплекс первоочередных мероприятий, включающий строительство протяженной левобережной дамбы обвалования (28 км) и берегоукрепления (более 10 км). Кроме того, предусматривается капитальный ремонт существующих правобережных дамб и берегоукрепительных сооружений (рис. 3). Для регулирования русла и частичного перенаправления речного стока рекомендовано строительство струнаправляющих шпор, а также выполнение работ по расчистке и дноуглублению отдельных участков р. Селенги (более 11 км). Затраты на рекомендуемые мероприятия составляют 3,85 млрд руб.



Основным критерием рентабельности при проектировании мероприятий по предупреждению и снижению последствий негативного воздействия вод является показатель экономической эффективности. Он носит вероятностный характер и складывается из недопущенных ущербов от негативного воздействия вод при наводнениях, а также процессов обрушения берегов. Оценка проведена в соответствии с Методикой [12]. Оптимальным является выполнение мероприятий, экономическая эффективность которых положительная и составляет не менее 1,1. Расчеты данного параметра показали, что проведение защитных мероприятий целесообразно не для всех поселений. Высокие значения экономической эффективности связаны со значительными размерами причиненных ущербов (г. Улан-Удэ) или небольшими затратами на ремонтные работы. Большинство мероприятий по защите берегов оценены как неэффективные.

По экономическому эффекту все мероприятия объединены в три группы. В отдельную группу сведены нерентабельные мероприятия. Однако, учитывая реальную обстановку опасности затопления некоторых объектов и возможных значительных экологических ущербов, частично и нерентабельные мероприятия включены в перечень основных групп. Например, в с. Поворот интенсивный процесс размыва береговой линии может привести к подмыву кладбища, поэтому берегоукрепление отнесено к группе необходимых мероприятий при отрицательном экономическом эффекте.

Таким образом, на основе комплексного анализа полученных в процессе работы результатов и проведенной систематизации, в соответствии с положениями Водного кодекса РФ и Распоряжением Правительства РФ от 27.08.2009 № 1235-р «Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года» сформирована программа реализации предлагаемых мероприятий [13, 17]. Программа определяет комплекс мероприятий в бассейне рек Селенга, Чикой по предотвращению негативного воздействия вод и обеспечению безопасности гидротехнических сооружений. Программа увязана с Федеральной целевой программой (ФЦП) «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах», Республиканской целевой программой «Развитие водохозяйственного комплекса Республики Бурятия в 2013–2020 годах».

В целом с учетом объединения трех прилегающих к г. Улан-Удэ сел и девяти сел Кабанского района требуется защита от негативного воздействия вод для 31 поселения. При общих затратах на проведение мероприятий 5,5 млрд руб. предполагается, что будет предотвращен вероятностный ущерб в размере 36,1 млрд руб., в т. ч. от затопления паводками и заторными явлениями – более 36,0 млрд руб., берегообрушения – около 0,1 млрд руб., обеспечена защита 38 169 человек.

Все мероприятия сгруппированы по очередности их реализации. Приоритетность выбора противопаводковых мероприятий и мероприятий по защите берегов определена в результате совокупного анализа полученных количественных показателей, в отдельных случаях с учетом экспертной оценки.

Первоочередная реализация инженерных мероприятий предложена для 13 объектов защиты и в первую очередь – г. Улан-Удэ. Целесообразность их выполнения оценивается как высокая. Недопущенный ущерб составит 33,5 млрд руб., тогда как стоимость защитных сооружений – 4,8 млрд руб. Для реализации защиты от затопления и берегообрушения в границах поселений требуется проведение 11 мероприятий по строительству, реконструкции и ремонту дамб, 2 – по расчистке русла, 6 – по строительству берегоукрепительных сооружений и ремонту существующих. Во вторую очередь входят 7 населенных пунктов, для которых требуется строительство и реконструкция дамб обвалования. Затраты на защитные сооружения составят 0,3 млрд руб., будет предотвращен ущерб в размере 0,8 млрд руб. В последней третьей очереди от негативного воздействия вод предусмотрены 11 защитных мероприятий по устройству дамб обвалования и берегоукрепления.

Необходимо отметить, что сформированная программа и очередность мероприятий носят рекомендательный характер и в зависимости от изменения гидрологического режима могут быть скорректированы. Для поселений, в которых выполнение защитных мероприятий экономически нецелесообразно, в качестве минимизации негативных последствий предложено переселение жителей, проживающих в зонах затопления.

ВЫВОДЫ

Для обеспечения эффективного управления бассейном р. Селенги, принятия обоснованных и согласованных решений, направленных на снижение ущербов и возможного их предупреждения, исследование, выполненное в рамках ФЦП (Государственный контракт № И-12-71) имеет большое научное и практическое значение.

Полученные в ходе исследования на основе многолетних гидрологических данных с помощью современного комплекса программ по моделированию и использованием космических снимков высокого разрешения результаты обладают достаточно высокой точностью и достоверностью. Расчеты ущербов, стоимости защитных мероприятий и их экономической эффективности проведены по Методике, утвержденной приказом Минприроды России. Рекомендации обоснованных мероприятий инженерной защиты от негативного воздействия вод разработаны в соответствии с положениями Водного кодекса и санитарными нормами и правилами.

Созданная база данных разносторонней гидрологической информации позволила в пространственно-временном диапазоне рассмотреть формирование паводковых и заторных наводнений, развитие русловых процессов на реках Селенга и Чикой. Наиболее характерны и представляют большую опасность паводковые наводнения. Периодическим затоплениям подвержены территории 70 сельских поселений и г. Улан-Удэ. Катастрофические заторные явления отмечаются на р. Селенге с высоким риском для 7 населенных пунктов. Инвентаризация гидротехнических сооружений показала, что большинство из них находится в неудовлетворительном состоянии и требует срочного ремонта или реконструкции.

На основе детальных гидроморфологических изысканий и расчетов гидрологических характеристик проведено моделирование зон затопления при расчетных уровнях воды заданной вероятности превышения, которое позволило выявить масштабы негативного воздействия вод, определить перечень объектов в пределах населенных пунктов и оценить вероятностный ущерб. Установлено, что негативному воздействию вод подвержены территории населенных пунктов площадью более 5,0 тыс. га, на которых проживает около 40 тыс. человек. Только прямые ущербы для Республики Бурятия оцениваются в сумму около 37 млрд руб. (в ценах 2008 г.).

В процессе комплексного анализа количественных и качественных показателей для каждого поселения выбран обоснованный вариант защиты населения и хозяйственных объектов от негативного воздействия вод. Всего предложено 48 мероприятий. Однако при оценке экономической эффективности только часть мероприятий оказалась рентабельной. Обоснование приоритетности выбранных мероприятий позволило сгруппировать их по очередности реализации. Сформированная таким образом программа является инструментом для реализации и основанием целевого финансирования. При финансировании мероприятий по защите от негативного воздействия вод в объеме 5,5 млрд руб. предполагается предотвращение вероятностного ущерба в размере 36,1 млрд руб. и обеспечение защиты более 38 тыс. человек.

Кроме того, полученные в ходе исследования материалы, карты зон затопления могут служить инструментом для эффективного управления и скоординированных действий при чрезвычайных ситуациях, а также эффективной необходимой информацией при планировании территории населенных пунктов, проектировании и строительстве объектов.

В заключение необходимо отметить, что в рамках данной работы по ФЦП детально рассмотрены только две основные реки бассейна – непосредственно Селенга и Чикой. Безусловно, не включение других важных притоков – Уда, Джиды, Хилок – не может дать полной обобщающей карти-

ны по всему бассейну. Сложностью исследования являлось рассмотрение формирования паводков в бассейне, поскольку эти притоки дают большой прилив воды и значительно влияют на прохождение наводнений на Селенге. Продолжением данного исследования по уже апробированной методике может стать весь бассейн р. Селенги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов-Данильян В.И., Гельфан А.Н., Мотовилов Ю.Г., Калугин А.С. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценка повторяемости, результаты моделирования // Водные ресурсы. 2014. № 2. С. 111–123.
2. Магрицкий Д.В., Иванов А.А. Наводнения в дельте р. Кубани // Водные ресурсы. 2011. №4. С. 387–406.
3. Гармаев Е.Ж., Христофоров А.В. Водные ресурсы рек бассейна озера Байкал: основы их использования и охраны. Новосибирск: Изд-во «Гео», 2010. 231 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Вып. 3. Бассейн оз. Байкал (Забайкалье) / под ред. М.Г. Васьяковского. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 400 с.
5. Борисова Т.А. Природно-антропогенные риски в бассейне оз. Байкал. Новосибирск: Изд-во «Гео», 2013. 126 с.
6. Борисова Т.А., Бешенцев А.Н. Территориальная оценка риска от наводнений в Байкальском регионе в условиях экологических ограничений // Безопасность жизнедеятельности. 2011. № 12. С. 32–38.
7. Программный комплекс HEC-RAS (U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center River Analysis System, www.hec.usace.army.mil) и расширения ArcView HEC-GEORAS.
8. HEC-RAS river analysis system User's Manual. 2002.
9. Modeling the World of Water. DHI Water & Environment. DHI Software. Режим доступа: <http://www.dhisoftware.com>1. S000 10000 11000 12000
10. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т.1: Руслые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.
11. Гидроэкология: теория и практика. (Проблемы гидрологии и гидроэкологии) / под ред. Н.И. Алексеевского. М.: МГУ, 2004. 507 с.
12. Методика оценки вероятностного ущерба от вредного воздействия вод и оценки эффективности осуществления превентивных водохозяйственных мероприятий. М.: ФГУП ВИЭМС, 2006. 97 с.
13. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 N74-ФЗ (ред. от 28.11.2015). Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683
14. СНиП 2.06.15-85 (2000) Инженерная защита территории от затопления и подтопления. Режим доступа: <http://www.ssa.ru/norms/documents/4384D843D>
15. СНиП-22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095540>

16. СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200094156>
17. Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года. Распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 № 1235-р. Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91329

Сведения об авторах:

Гармаев Ендон Жамьянович, д-р геогр. наук, директор института, ФГБУН «Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук» (БИП СО РАН), Россия, 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6; e-mail: garend1@yandex.ru

Борисова Татьяна Анатольевна, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, лаборатория геоинформационных систем, ФГБУН «Байкальский институт природопользования Сибирского отделения Российской академии наук» (БИП СО РАН), Россия, 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6; e-mail: tabor@binm.bscnet.ru