

Межвузовский научно-координационный совет
по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Географический факультет

Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена

Институт водных проблем Севера РАН

МОРФОЛОГИЯ И ДИНАМИКА РУСЕЛ РЕК В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ



Москва – 2019

Попов И.В. Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат. 1969.

Чалов Р.С., Чернов А.В. Геоморфологическая классификация пойм равнинных рек // Геоморфология. 1985. № 3.

Чернов А.В. География и геозкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М.: Крона. 2009.

Чернов А.В. Геоморфология пойм равнинных рек. М.: Изд-во МГУ. 1983.

Чернов А.В., Зарецкая Н.Е., Карманов В.Н., Панин А.В. История развития средней Вычегды в позднеледниковье и голоцене // Древние и современные долины и реки: история формирования, эрозионные и русловые процессы. Волгоград: Перемена. 2010.

Шанцер Е.В. Аллювий равнинных рек умеренного пояса и его значение для познания закономерностей строения и формирования аллювиальных свит / Тр. Геол. ин-та АН СССР. Сер. геол. Вып. 135. 1951.

**А.С. Завадский, В.В. Сурков, П.П. Головлёв, С.Н. Рулёва,
И.В. Крыленко, И.Н. Крыленко, М.Д. Горячко, М.А. Самохин**
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

СТРАТЕГИЯ ЗАЩИТЫ ОТ ОПАСНЫХ РУСЛОВЫХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА РЕКАХ ТЕРРИТОРИЙ СПЛОШНОГО И ОЧАГОВОГО ОСВОЕНИЯ*

Освоение пойм и берегов рек сопряжено с рисками. Населённые пункты, коммуникации, промышленные объекты затапливаются в половодья и паводки, могут быть разрушены в ходе русловых деформаций. При ведении хозяйственной деятельности на поймах необходимо не только учитывать русловой и гидрологический режим реки, но и прогнозировать их изменения с учётом колебаний климата, стока, природных и техногенных трансформаций ландшафтов в бассейнах рек. В России после прошедших разрушительных наводнений на Лене (2001), Амуре (2013), Северной Двине (2013), Краснодарском (2002, 2012) и Ставропольском краях (2017) работающие на приречных территориях организации, водохозяйственные ведомства, власти обращают внимание не только на строительство водооградительных сооружений, но и проявляют интерес к общим вопросам противопаводковой защиты, разработке стратегии защиты в рамках речных бассейнов, административных единиц и регионов.

* Выполнено по Государственным контрактам с Верхне-Обским бассейновым водным управлением, плану НИР (ГЗ) научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова при поддержке РФФИ (проект 18-05-00487 – оценка экстремальных проявлений русловых процессов) и РНФ (проект 18-17-00086 – опасные деформации на реках с разветвлённым руслом)

В 2012-2015 гг. Научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, при участии кафедр гидрологии суши, экономической и социальной географии России Географического факультета МГУ была выполнена научно-исследовательская работа, включающая анализ гидрологического и руслового режимов рек Томи в Кузнецкой (Кузбасс) и Катун в Уймонской (Алтай) межгорных котловинах, обследование пойм и подмываемых берегов, математическое моделирование затопления приречных территорий. Итогом стала выработка концепции, направленной на совершенствование защитных мер от опасных гидрологических и русловых процессов. В её рамках предложено более 200 инженерных и организационных мероприятий. Тема актуальна и для Кузбасса, имеющего многовековую историю освоения приречных территорий, и для Горного Алтая, где население сосредоточено в речных долинах, а поймы рек часто единственные субгоризонтальные поверхности, пригодные для размещения населённых пунктов и прокладки коммуникаций. Паводки и половодья на горных и полугорных реках имеют разрушительный характер из-за бурного течения горных потоков, больших скоростей, резких и быстрых подъёмов уровней воды.

Наводнения 1958 и 1977 гг. на р. Томи сопровождались большими разрушениями и человеческими жертвами. Река затопила треть территории г. Новокузнецка с населением более 100 тыс. чел; в некоторых районах уровень воды достигал вторых этажей. Была подтоплена площадка Томь-Усинской ГРЭС – крупнейшей тепловой электростанции Западной Сибири. На реках Алтая разрушительные наводнения отмечались в 1920, 1928, 1937, 1954, 1958, 1969, 2010 гг. В 2014 г. паводок на р. Катун размыл более 500 км автодорог, повредил 235 мостов, 23 опоры ЛЭП, 80 хозяйственных и социальных объектов. Было затоплено более 4 тыс. домов, в том числе в г. Майме и Горно-Алтайске. От наводнения пострадало 27 тыс. чел. – 12% жителей республики Горный Алтай [Бердников, 2014]. Ущерб составил 3,2 млрд. руб., затраты на оказание различной помощи населению – около 2 млрд. На горных реках опасны не только половодья. В 2002 г. размыв левобережной террасы Катун уничтожил более 4 км² территории с. Усть-Кокса; 50 домов и инженерно-хозяйственных объектов на трёх улицах были смыты.

Разрушительный характер половодий и русловых процессов вынуждает строить дорогостоящие защитные сооружения. Для защиты с. Усть-Коксы от размыва была построена капитальная дамба длиной 1100 и высотой 8 м; её сметная стоимость составила 109 млн. руб., или почти 20% бюджета Усть-Коксинского района. В Кузбассе в 60-70-е годы XX века для защиты городов, посёлков и хозяйственных объектов от затопления создана сеть дамб, берегоукрепительных и струенаправляющих сооружений, впоследствии усиленная и дополненная. Сейчас их насчитывается 55. Капитальные непериливы дамбы ограждают по периметру г. Междуреченск, со стороны реки – центральные районы г. Новокузнецка. Дамбы более низкого

класса защищают окраинные районы г. Новокузнецка и основные сельские поселения; водооградительными сооружениями служат также укрепленные насыпи автодорог. Но через них в понижениях и под мостами через малые притоки возможен доступ воды на обвалованные территории. Как показали половодья 2004 г. на р. Томи и 2014 г. на Катунь, даже разветвленная сеть защитных сооружений не гарантирует полной безопасности населенных пунктов и хозяйственных объектов. Изменения климата сопровождаются изменениями гидрологического и руслового режима рек, и построенные 50-70 лет назад дамбы не всегда соответствуют новым условиям. Поймы всё больше вовлекаются в хозяйственный оборот, хотя их затопление в последние 15-20 лет усиливается, а при меняющемся климате отсутствуют надежные гидрологические прогнозы. Старые дамбы Новокузнецка и Междуреченска требуют основательного ремонта; между тем, при их прорыве наводнение примет размер катастрофы.

Капитальные дамбы, возводимые на средства федерального бюджета, защищают далеко не всё. Они возведены в крупных населенных пунктах и вдоль магистралей – там, где река может причинить наибольший ущерб. Сооружения оперативного реагирования создаются в ответ на текущие угрозы затопления населенных пунктов, разрушения дорог, коммуникаций, промышленных и гражданских объектов. Это построенные усилиями местных властей и организаций дамбы, всевозможные наброски, шпоры, отсыпки, а также прорезы в русле реки. В Кузбассе и на Алтае они защищают проходящие вдоль рек дороги, большинство сёл и деревень, переходы ЛЭП, дачные посёлки, промышленные объекты, подъездные пути к мостам.

Эффективность этих сооружений зависит от правильной оценки русловых процессов, адекватности решений, располагаемых средств. Часто строительство ведется без технико-экономического обоснования, изысканий и проектов, по самому дешевому варианту, маломощными силами местных ведомств на ограниченные средства, носит временный и авралный характер, качество работ низкое. Применяется подручный материал, и лишь в редких случаях отсыпки армируются бетонными плитами или металлическим шпунтом. Масса валунника на отмелях Катунь позволяет проводить подсыпку дамб непосредственно перед половодьем, что обычно и практикуется. В половодье они размываются, но этих временных сооружений достаточно для защиты берега от размыва или предотвращения затопления территории в средние по водности годы. В половодья 1- и 5%-й обеспеченности обеспечить защиту приречных территорий они не в состоянии.

Некапитальные дамбы недолговечны (1-5 лет), и регулярно требуют затрат сил, средств и времени на восстановление. В 2004 г. р. Томь прорвала грунтовую дамбу п. Телеуты, посёлок был затоплен, население – эвакуировано. 400-метровая берегозащитная дамба на р. Катунь у д. Гагарки стоимостью 5 млн. руб., защитные функции выполняет не полностью. Дамба перекрывает не весь рукав реки, из-за чего сохраняется его достаточная водность и положение стрежня потока у подмываемого берега, на который выходит селитебная территория. Сооружение не укреплено, находится в не-

благоприятных гидравлических условиях, его оголовки и верховой откос интенсивно подмываются. Село затопляется не только из русла Катунь, но и по пойменным протокам, истоки которых расположены в 5-10 км выше по течению. Но возможны ситуации, когда вовремя и в нужном месте созданное лёгкое сооружение может поддержать благоприятное развитие русла или предотвратить опасные проявления в их начальной стадии. В 2015 г. на р. Коксе (притоке р. Катунь) короткие полузапруды смогли сместить стрелу потока от берега к середине русла, предотвратив размыв опоры моста у с. Красноярки.

В небольших деревнях и посёлках жители защищают дома от размыва, укрепляя береговые откосы каменными набросками, стенками из бетона, металлических листов и свай. Производится самодеятельное обвалование, подсыпка площадок и рытье дренажных канав для защиты от подтопления. На Катунь на подмываемых берегах, в опасно развивающихся протоках сооружаются простейшие противопаводковые заграждения из связанных тросами древесных стволов, которые рассредоточивают поток, снижают его скорость, ослабляя воздействие на берега. Эти меры рассчитаны на обычные проявления опасных процессов и не спасают в высокие половодья, когда интенсивность русловых процессов возрастает. Эффективность противопаводковой защиты снижает отсутствие общей региональной системы, разработанной для больших отрезков долин, с учётом с учетом русловых процессов, водного режима реки и прогноза их динамики. Инженерные сооружения, в том числе капитальные, созданы для защиты конкретных объектов, их работа часто несогласованна, в некоторых случаях построенное сооружение усиливает размыв берега ниже по течению.

При единстве предложенной стратегии, для каждого региона были продуманы свои подходы и решения, исходя не только из особенностей природных факторов и процессов, но и освоенности территории.

Условия русловых деформаций, гидрологический и русловый режимы р. Томи и Катунь различны. Водоносность Томи почти втрое больше (средние многолетние расходы воды 650 и 232 м³/с, максимальные – 11200 и 4600 м³/с). Обе реки имеют 3-4-месячное весеннее-летнее половодье, в которое проходит 70-80% стока воды и низкую осеннее-зимнюю межень. Амплитуда уровней на Томи вниз по течению увеличивается с 3-5 до 7-8 м, верхней Катунь – уменьшается с 4,5 до 3 м.

Выше г. Новокузнецка р. Томь, протекая по южной периферии Кузнецкой котловины, имеет относительно узкую долину с озёрными и раструбообразными расширениями дна в 3,5-7 км, преимущественно адаптированное, местами полугорное, порожистое галечно-валунное русло с большими (1-3%) уклонами и скоростями течения 1,5-3 м/с. Прямые участки прерываются одиночными и пойменно-русловыми разветвлениями, вынужденными и адаптированными излучинами. Скальные борта долины ограничивают деформации русла. Прямые участки стабильны. В разветвлениях периодические изменения водности рукавов усиливают размыв берегов вдоль ранее маловодных протоков. Размывы измеря-

ются первыми метрами в год, но при плотной застройке береговой линии даже это создаёт аварийные ситуации. Ниже Новокузнецка русловые деформации свободные, устойчивость русла снижается, протяжённость подмываемых берегов увеличивается. Ширина поймы здесь достигает 11 км. Она затопляется регулярно, но имеет место цикличность, обусловленная многолетней динамикой водности реки. В 1979–2003 гг. половодья были низкими. Сейчас их уровни вновь растут, увеличивается длительность и глубина затопления поймы.

Верхняя Катунь – мощная горная река с большим стоком наносов, быстрым (до 5 м/с) течением, подвижными галечно-валунными побочными и осередками, высокими темпами деформаций слабоустойчивого и неустойчивого, преимущественно сложноразветвлённого, русла. Уймонская котловина – район с условиями свободного развития русловых деформаций; локальные размывы берегов достигают 20–50 и даже 90 м в год. Опасные размывы приурочены к вогнутым берегам излучин основного рукава, развитие которых от зарождения до спрямления занимает 25–45 лет. Река имеет широкую (до 3,5 км) пойму, пересекаемую многочисленными протоками. Пойменные протоки отвлекают 10–30% стока реки, так что на одних участках водность основного рукава уменьшается, на других – растёт. Протоки могут развиваться, трансформируясь в многоводные рукава основного русла, это сопровождается масштабными размывами берегов и дна, что несёт угрозу расположенным на берегах сёлам и фермам.

На берегах Томи и её притоков расположены районы городов Междуреченска (104 тыс. жит.), Новокузнецка (550 тыс. жит.), Мысков (40 тыс. жит.) с многоэтажной застройкой; 29 посёлков и деревень, 25 садоводств и коттеджно-дачных посёлков; площадки Томь-Усинской ГРЭС, Новокузнецкого и Западно-Сибирского металлургических комбинатов; многочисленные промышленные, торговые и коммунальные предприятия; золоотвалы и хранилища отходов; нефтебазы; рекреационные зоны, спортивные центры. По пойме проходят ЛЭП, трубопроводы, местные и федеральные пути сообщения. В зоне периодического затопления или на подмываемых берегах находится около 15 тыс. домов и различных объектов, проживает более 300 тыс. чел. Пойма верхней Катуни – прежде всего пастбищные угодья. Освоение приречных территорий очаговое: в верхней части Уймонской котловины на берегах реки раскидано 12 сёл и деревень с населением 7,5 тыс. чел., мараловодческие хозяйства, немногочисленные сельхозпредприятия, туристические объекты и гостиницы, проходят автодороги местного значения; через реку перекинута несколько мостов.

Разработка стратегии противопавдковой защиты имеет шесть этапов. Первый включает сбор картографического материала, сведений о районе работ и водных объектах, включая научную литературу, фондовые материалы изыскательских и проектных организаций; проводятся опросы населения о прохождении половодий и паводков. На этом этапе выполняются натурные гидрологические, геодезические и геоморфологические исследования русла и поймы реки, проводится паспортизация населённых пунктов

и хозяйственных объектов, обследуются защитные сооружения. На основе полученных данных анализируются гидрологический и русловой режимы реки, затопление поймы, рассчитываются зоны берегообрушения. Необходимое звено этапа – математическое моделирование русловых и гидрологических процессов.

Компьютерное моделирование процессов проводилось с помощью двухмерной гидродинамической модели пойменно-руслового комплекса «Flood» [Беликов, Милитеев, 2002], успешно применявшейся для решения задач, связанных с затоплением территорий и противопаводковыми мероприятиями на реках России [Беликов, Зайцев, Милитеев, 2002; Беликов, Завадский и др., 2010; Алексеевский., Крыленко и др., 2014]. Для р. Томи была проведена сценарная имитация затопления прибрежных территорий при прохождении расходов воды 1, 5 и 15%-й обеспеченности. Для Катунь эта задача была второстепенной; главной целью стал прогноз смещения русла в населённых пунктах и вблизи хозяйственных объектов. Здесь был реализован совместный расчет по модели «Flood» и одномерной модели *MIKE 11* Датского гидрологического института. Для адаптации гидродинамических моделей к натурным объектам использовался большой массив исходных данных: цифровая модель рельефа, построенная по полевым измерениям и картографической информации, космические снимки на периоды межени и половодья, сведения от населения и хозяйственных организаций, расчетные гидрологические характеристики. Верификация моделей показала удовлетворительное соответствие измеренных и рассчитанных отметок водной поверхности: в контрольных точках они различались в среднем на 3-30 см. Модели хорошо воспроизводили распределение расходов воды по рукавам и крупным пойменным протокам.

Моделирование определило сценарные горизонты воды, глубины и скорости течения в русле и на пойме Томи и Катунь; это позволило создать карты зон затопления (с учётом уже построенных противопаводковых дамб) и уточнить подмываемые участки берегов. В частности, при прохождении 1%-ного расхода воды по Катунь будет затоплено 85% поверхности поймы; средние глубины в русле реки достигнут 6-7 м, максимальные – 11 м, на затопленных участках поймы – до 1-1,5 м, скорости течения превысят 3 м/с, в сужениях русла – 5 м/с. В зону затопления попадёт 260 частных хозяйств, в которых проживает 1000 чел., 6,5 тыс. га приусадебных и хозяйственных территорий, 10 км автодорог, ЛЭП и линии связи. Уровни затопления при прохождении расходов воды 5%-й обеспеченности ниже всего на 0,3-0,5 м, немного изменятся глубины и поле скоростей. Но при этом число попадающих в зону затопления объектов сокращается втрое, а вероятный ущерб – в два раза. 15%-е половодье, уровни которого ещё на 0,5 м меньше, практически не наносит ущерба жилому сектору и инфраструктуре населённых пунктов. По расчётам, за 25 лет русло сместится на 20-150 м; это приведёт к разрушению защитной дамбы в д. Гагарке, размыву автодороги Усть-Кокса-Мараловодка. Река снесёт десятки стоящих на берегу жилых и хозяйственных строений в д. Гагарке, на стрелке слияния Катунь и Коксы, размост

подъездные пути и опоры моста через Катунь у д. Саксабай. Полученные с помощью моделирования результаты в ряде случаев говорят о необходимости принятия неотложных защитных мер.

Моделирование скорректировало зоны затопления. По относительным отметкам поймы р. Катунь, д. Саксабай должна затапливаться в половодье 5%-й обеспеченности. Но расчеты показали, что этого не будет: высота половодья снижена из-за расширения поймы. В с. Октябрьском расчетные характеристики учитывают повышение уровней половодья в зоне подпора от насыпи Уймонского моста. Село может затапливаться, хотя, по запросам местных жителей, такого не отмечалось. По расчетам, застроенные жилыми домами и туристическими объектами гривы на низкой стрелке слияния р. Катунь и Коксы не затапливаются, что согласуется с натурными данными и сведениями местной администрации. В с. Верхний Уймон зона затопления включает не только пойму, но и улицы на надпойменной террасе, где её бровка понижена, а прирусловой вал отсутствует.

Второй этап – четкое определение проблемных участков (отрезки русла и пойменные территории), где есть опасность затопления населенных пунктов, хозяйственных объектов и вероятность их размыва. На 140-километровом отрезке долины р. Томи таких участков оказалось 121 (90 затопляемых территорий, занимающих 55% поймы и 31 участок с размывами общей протяженностью 35 км, примерно 8% береговой линии). Моделирование показало возможность перелива воды через прораны и понижения оградительных дамб в г. Междуреченске. В Новокузнецке заливаются посёлки, находящиеся вне защитных дамб: Лесной Абагур, Форштадт, Садовая, Водник, Вертолётная Площадка, 6-й км, Кульяновка. Через проходы под насыпью железной дороги у п. Водник возможен заход воды в защищённый дамбой центр города, что произошло в 2004 г. Переливаясь через недостаточно высокую насыпь шоссе Междуреченск-Новокузнецк выше устья р. Мрас-Су, вода затапливает п. Новый Улус, Косой Порог, Карчит, десятки садоводств, зон отдыха, лагерей и турбаз. У д. Боровково шоссе переливается на протяжении 6 км и проходит по подмываемой бровке, где постоянно ремонтируется полотно и укрепляется береговой откос. Сама деревня затапливалась неоднократно, погибал скот, были человеческие жертвы. На размываемом берегу стоят 30 из 82 хозяйств. Из-за подмыва берега разрушаются скважины Безруковского водозабора, питающего Новокузнецк; выше п. Камешек под угрозой размыва находится железная дорога Новокузнецк – Абакан. На 50-километровом отрезке р. Катунь выявлен 21 опасный участок; 13 из них связаны с размывами берегов на излучинах основного рукава реки. Угроза затопления селений здесь в большей степени исходит от разливающихся в половодье пойменных проток и второстепенных рукавов.

На третьем и четвёртом этапах производится ранжирование чрезвычайных ситуаций, обусловленных опасными русловыми и гидрологическими процессами, по периодичности и тяжести последствий. Это необходимо для определения приоритетов в распределении сил и средств, после-

довательности выполнения тех или иных защитных мер, особенно при большом количестве подверженных негативному воздействию потока объектов, как, например, в Кузбассе.

Третий этап включает экспертную оценку возможности возникновения чрезвычайных ситуаций. Она определяется в баллах: 0 – непосредственная опасность отсутствует, 1 – опасность низкая, 2 – опасность средней степени, 3 – высокая опасность. Учитывается продолжительность и регулярность затопления территории, состояние защитных сооружений, темп размыва берегов, периодичность опасных явлений. Были выделены четыре группы опасных наводнений: катастрофические, повторяемость раз в столетие и реже (обеспеченностью максимальных уровней и расходов 1% и менее); выдающиеся, повторяемость раз в 20-100 лет (обеспеченность от 5% до 1%); высокие, повторяемость раз в 10-20 лет, и низкие, обеспеченностью более 10%. Для Катунь приоритетными были явления, связанные с горизонтальными деформациями русла, для Томи – с затоплением территории и авариях на дамбах, связанных с воздействием вод реки.

На четвёртом этапе определяется тяжесть последствий бедствия. Здесь оценивается доля площади затопления (или размываемой территории) от общей площади населённого пункта, количество домов и хозяйственных объектов в угрожаемой зоне, их экономическая и общественная значимость, возможное число пострадавших, стоимость утраченного и повреждённого имущества. С учётом тяжести последствий и масштаба разрушений чрезвычайная ситуация (ЧС) классифицируется как локальная, муниципальная или местная, региональная - в пределах большого отрезка долины. Оценка ориентирована на действующие в России правовые нормы (государственные стандарты, руководящие документы), применяемую классификацию чрезвычайных ситуаций (Постановление правительства № 304 от 21.05.2007 г.) и имеющиеся базовые методики расчетов ущербов, что позволяет перейти к их стоимостной характеристике.

В долине Томи из 121 участка выделено 13, где вероятно возникновение ЧС регионального уровня. Три из них связаны с защитой г. Междуреченска. Кроме возможности перелива воды через дамбы, подмыв основания и откосов создают угрозу их прорыва. Будут затоплены жилые районы и промзона, повреждена городская инфраструктура, нарушена работа предприятий. Большими окажутся затраты на эвакуацию населения, восстановительные и компенсационные мероприятия. Опасна ветхость дренажных систем, из-за которой подтапливаются обвалованные городские территории: не работают водопропуски, каналы ливневых и сточных вод завалены мусором, недостаточно станций откачки воды. Та же ситуация в Новокузнецке, где нередки случаи затопления кварталов через ливневую канализацию. Здесь выявлено пять участков, на которых в расчетной зоне 1% и 5%-ного затопления оказываются тысячи строений и десятки тысяч жителей. Как ЧС регионального масштаба определяется размыв федеральной трассы Междуреченск-Новокузнецк у с. Безруково и Боровково, железной дороги Новокузнецк-Абакан (у п. Камешек) – единственной магистрали, напрямую свя-

зывающую Кузбасс и юг Красноярского края. Перелив воды через шоссе Междуреченск-Новокузнецк у п. Карчит также приведёт к масштабному бедствию: ограждённая дорожными насыпями селитебная территория площадью 30 км² не имеет водопропусков для быстрого слива воды в русло, и будет затоплена длительное время. Затопление посёлков, не имеющих защитных сооружений, или с полуразрушенными дамбами (40 участков) классифицируется, как ЧС местного масштаба. Многочисленные дачные и садовые товарищества сейчас трансформируются в респектабельные коттеджные посёлки с постоянным или длительным проживанием людей, и наводнения обходятся населению куда дороже, чем затопление хибарок и сарайчиков огородников. Эти посёлки тоже требуют защиты, что из-за их неопределённого статуса игнорируется властями. Локальные ЧС возникают при подмыве рекой опор ЛЭП, предприятий, при затоплении улиц с частной застройкой и изолированных хозяйств.

Сумма ущерба (в ценах 2014 г.) от последствий половодья 1%-ной обеспеченности будет значительной: 34,4 млрд. руб., или 5% годового валового продукта Кемеровской области; из них 70% приходится на Новокузнецкий городской округ. Ущерб селитебным территориям оценен в 27 млрд. руб., включая компенсацию убытков, расходы на восстановление жилья, эвакуацию населения, медицинскую помощь. При затоплении будет повреждено более 2 млн. кв. м жилья - частных домовладений и первых этажей многоэтажных домов в посёлках вне системы водооградительных дамб. Общая сумма ущерба по производственным объектам составит более 5,5 млрд рублей, из которых более 4,7 млрд рублей - предприятиям Новокузнецка. Нарушение функционирования Новокузнецкого металлургического комбината на несколько дней оценивается в 42-45 млн рублей. Исходя из этого, в Кузбассе безусловный приоритет отдан сплошной противопаводковой защите городов, значимых посёлков и предприятий, подмываемых участков федеральных автомобильных и железных дорог.

Ситуация на Катуни принципиально иная. При очаговом освоении и невысокой плотности населения ущерб от наводнений оказывается относительно небольшим. ЧС примет региональный характер лишь при размыве автодороги, связывающей районный центр Усть-Коксу с расположенными выше по течению реки населёнными пунктами: без автотранспортного сообщения останутся 5 селений и 1800 жителей. Опасность ситуации в том, что шоссе некуда переносить: склоны горы - многометровые скальные уступы. При обрушении моста в с. Саксабай временно недоступно будут и село, и большие площади сенокосов и пастбищ. Половодье 1%-й обеспеченности принимает размеры муниципального бедствия в связи с большим числом затопливаемых хозяйств и сложностью с эвакуацией жителей (более 1 тыс. чел). Размыв селитебных территорий рассматривается, как ЧС локального или муниципального масштаба в зависимости от размера ущерба и возможности переноса строений.

Потенциальный ущерб в 10 населённых пунктах при прохождении 1%-го половодья составит 23,4 млн. руб., из которых 13,4 млн. руб. - иму-

ществленные потери жителей и 3,5 млн руб. — затраты на восстановление дорог и коммуникаций. В эту сумму не входят многомиллионные косвенные убытки, которые не поддаются точной стоимостной оценке. Потеря автодороги Усть-Кокса-Мараловодка — единственной транспортной нитки в районе — создаст большое социально-экономическое напряжение: организация на период восстановления связи, снабжения, медицинской помощи, налаживание вывоза сельхозпродукции, завоза топлива, потери предприятий транспорта и торговли от простоя и т.д. Верхний Уймон — историческое село с уникальными постройками и памятниками, стоимостная оценка ущербов для которых не всегда может базироваться на жестких нормативах. Прямой ущерб от половодья 5%-ной обеспеченности (12,1 млн. руб.) гораздо меньше из-за сокращения площади затопливаемой селитебной зоны; число пострадавших не превысит 400 чел. Ущерб от 15%-го половодья составит всего 4,1 млн. руб.: это затраты на компенсации потерь населению и ремонт подъездных путей к мостам.

Очаговое освоение, рассредоточенное положение объектов, находящихся в опасных зонах, их невысокая стоимость, а также динамичность русла реки вынуждают отказать от дорогостоящей сплошной инженерной защиты территории от половодий редкой обеспеченности, сделав упор на прогноз подобных явлений и организационные мероприятия: предупреждение, эвакуацию населения и имущества, страхование и компенсационные выплаты. Инженерные сооружения прежде всего должны сдерживать и предотвращать опасные размыв берегов.

На пятом этапе предлагаются меры противопаводковой защиты: 1) водооградительные дамбы; 2) берегозащитные струенаправляющие и перегородаживающие дамбы, отсыпки, шпоры; 3) прорезы и расчистка русла (дноуглубление); 4) комплекс организационных и мобилизационных мероприятий.

В долине Томи наиболее опасно затопление освоенных территорий. Полностью устраняет проблему регулирование стока реки. В верховьях Томи, Усы, Мрас-Су есть возможность строительства гидроузлов и водохранилищ многоцелевого назначения. Их строительство пока неосуществимо, но возможна технико-экономическая проработка проектов. Сейчас основной упор сделан на строительство новых и модернизацию имеющихся и водозащитных дамб: восстановление разрушенных участков, подсыпка гребней до незатопляемых отметок, укрепление откосов, ремонт дренажных систем, создание регулируемых затворов в устьях притоков и временных ёмкостей для отвода паводковых вод. Сужение разливов увеличит уровни половодья и может повлечь перелив воды через существующие дамбы, не рассчитанные на изменившиеся условия. Поэтому предлагается ограждать лишь крупные массивы новой жилой застройки; для небольших посёлков предусматривается частичная защита и компенсационные мероприятия.

Дноуглубление необходимо применять осторожно и выборочно. На р. Томи в половодье проходит 70% стока воды, и снижение максимальных уровней из-за понижения дна будет несущественным. В межень будут за-

метны посадки уровней, обсыхание водозаборов и водоподводящих каналов, обмеление перекатов и ухудшение качества воды. В то же время на реке существуют зоны подпора, где идёт аккумуляция наносов и требуется постоянная выемка грунта. Наиболее эффективно дноуглубление при берегозащите: струенаправляющие прорезы на перекатах и в системах межкостровных проток в комплексе с использованием шпор, отсыпок и других сооружений.

На Катуні стратегией является сочетание организационных мероприятий со строительством локальных берегозащитных и струенаправляющих сооружений, защищающих селитебные и сельскохозяйственные анклавы от размыва и затопления в половодья обеспеченностью 5% и более. Дноуглубление здесь — важный и обязательный приём (струенаправляющие прорезы в основном русле, расчистку, спрямление и обвалование пойменных проток в населённых пунктах), но прорезы необходимо точно трассировать с обязательным учётом русловых процессов.

Спрявление излучин в русле Катуні возможно лишь при достижении отношения $I/L > 1,4$; при меньших параметрах прорезы будут бесполезны. Блокировать размыв вогнутого берега можно только капитальной дамбой, протягивающейся вдоль всего фронта размыва, строительством струенаправляющих шпор и одновременной разработкой спрямляющего рукава. Такая дамба предотвратила размыв центра с. Усть-Коксы; прорезь в спрямляющем рукаве, отводящая 42% стока реки, значительно снизила нагрузку на само сооружение. Капитальные работы дорогостоящие, и в большинстве случаев заведомо дороже ущерба от воздействия потока.

На развивающихся излучинах необходимо производить расчёт полосы размыва вогнутого берега и определять строения, которые необходимо перенести (цикл развития излучины позволяет это сделать заблаговременно). Необходимо вовремя выявлять активизацию второстепенных проток, и, по возможности, блокировать его лёгкими сооружениями и прорезями, отводящими поток от населённых пунктов. Игнорирование динамики русла не только снижает эффективность дамб и сооружений, но и ставит под угрозу само их существование; так, дамба в д. Гагарке требует капитального ремонта, хотя построена была всего два года назад.

Комплекс организационных мероприятий включает самые разные направления, актуальные и для Алтая, и для Кузбасса. Инженерные работы включают перенос объектов в безопасное место, реконструкцию дорожной сети (поднятие полотна дорог для их использования в качестве дамб и незатопляемых подъездов к посёлкам), расселение небольших деревень, защита которых обойдётся дороже их стоимости; внедрение в строительство проектов повышенной защищённости (домов с высоким цоколем, свайных, с усиленным водостойким фундаментом, на искусственных насыпях). Кадастровое направление предусматривает упорядочивание сведений о населении, недвижимости, инфраструктуре на пойме, разработку схем землепользования с учетом возможных негативных воздействий вод, административные ограничения и обременения при землепользовании на приречных террито-

риях. Технические меры – это создание единой службы эксплуатации гидротехнических сооружений, обеспечение их правильной работы и своевременного ремонта. Юридические вопросы включают разработку системы страхования от ущербов и рисков. Чисто организационные меры – предупреждение, планирование и проведение мероприятий по эвакуации, спасению населения, вывозу скота и имущества, обеспечение поселений плавсредствами, инвентарем, запасами стройматериалов, энергоустановками, продуктами, медикаментами; обеспечение взаимодействия различных ведомств при ЧС, организация добровольных спасательных дружин (что, например, требуется при спасении автомобилей в затопленных гаражных кооперативах). Необходимо повышать надежности прогнозов ЧС расширением сети гидрометеорологических постов, постановкой режимных наблюдений, в том числе дистанционными методами, мониторингом русловых процессов. Последнее особенно актуально для Алтая, учитывая кратковременный и нерегулярный характер опасных паводков. С 2000 г. в рамках федеральной программы на территории Усть-Коксинского района ведётся мониторинг русловых процессов на Катунь. Наблюдения позволяют оценить динамику русла, выявить угрожаемые участки, заблаговременно принимать управленческие решения и предотвращать возникновение аварийных ситуаций. Информация должна своевременно доводиться до органов МЧС и местной администрации. Наконец, надо вести просветительскую и пропагандистскую работу с населением и обучать его действиям в условиях ЧС. Любой житель в зоне затопления должен знать, что он/его домочадцы могут утонуть и иметь хотя бы спасжилет.

На заключительном, шестом этапе была разработана подробная схема конкретных противопаводковых и берегозащитных мероприятий для каждого региона, определялись работы первой, второй и третьей очереди. Не касаясь содержания этого детального реестра [Головлёв, Горячко и др., 2016; Завадский, Сурков и др., 2016], следует отметить, что в завершении работы была проведена оценка стоимости и экономической эффективности противопаводковых мероприятий и с применением комплекса «Flood» смоделированы половодья 1% и 5%-ной обеспеченности при реализации всех защитных мер.

Моделирование показало, что в Кузбассе последовательное выполнение намеченных мер защитит от затопления почти все населённые пункты, уменьшив площадь затопляемых территорий на четверть. На локальных участках произойдёт серьёзное, до 1,5 м, увеличение отметок половодья вследствие стеснения водного потока дамбами, в сужениях возможен рост скоростей течения на 15-30%, что вызовет местный размыв дна и берегов. Итоговая схема предлагаемых сооружений откорректирована с учетом этих эффектов. Стоимость предложенных мер составляет 6 млрд. руб. (включая 4,2 млрд. руб. непосредственно на инженерную защиту), или 0,8% годового продукта Кемеровской области. Но сопоставление затрат с предполагаемым ущербом от половодья 1%-ной обеспеченности (34,4 млрд.руб.) и 5%-ной обеспеченности показывает эффективность и оправданность вложений.

Наиболее эффективны реконструкция и ремонт дамб в Междуреченске и Новокузнецке, наращивание насыпей автодорог, оборудование водорегулирующих устройств - затворов, шлюзов, насосных станций в устьях притоков Томи.

Для Усть-Коксинского района очередность ввода в строй новых дамб и сооружений учитывает возможность выполнения работ за счет местных средств. Первоочередными являются работы, без которых ситуация резко ухудшится, или которые позволяют при относительно небольших затратах значительно снять остроту возможных проблем. Это, прежде всего, защита транспортных коммуникаций, учитывающая сложность восстановления дорог и мостов на горной реке. Мероприятиями последней очереди являются проекты, реализуемые с учетом долгосрочной перспективы или при наличии достаточного финансирования. Так, строительство новой берегозащитной дамбы в д. Гагарке (14,3 млн. руб.) намного дороже отселения нескольких хозяйств, которым размыв берега угрожает непосредственно.

Компьютерное моделирование подтвердило техническую эффективность предлагаемых мероприятий и инженерных сооружений на Катунин, но их стоимость (57 млн. руб.) в 2,5 раза превышает сумму возможного ущерба от половодья 1%-й обеспеченности и почти в 5 раз — от половодья 5%-й обеспеченности. Даже цена первоочередных мероприятий (29 млн. руб.) выше возможного ущерба от высоких паводков. Но по населенным пунктам, где основной ущерб связаны с затоплением (Верхний Уймон, Гагарка, Тихонькая, Берёзовка, Октябрьское) коэффициент эффективности в случае 1%-го наводнения больше единицы (1,7-4,1), т.е. он показывает целесообразность проведения работ. Следует учитывать и значительный косвенный ущерб от размыва дорог, не вошедший в расчёты. Обеспечение безопасности дорожной сети (6,3 млн. руб.) заведомо экономически эффективны, так как все равно потребуется восстановление размытых участков.

Противопаводковые мероприятия в освоенных речных долинах, даже минимально необходимые, затратны, что говорит о высоких рисках при освоении приречных территорий, особенно в горах и межгорных котловинах. Освоение речных долин требует разработки и внедрения комплексной стратегии противопаводковой защиты, всестороннего исследования и мониторинга русловых и гидрологических процессов. Она определяется не только русловым и водным режимами реки, но и освоенностью территории. В Кузбассе, где на пойме и берегах р. Томи расположены тысячи различных объектов, приоритет отдан почти сплошной инженерной защите береговых зон с активным воздействием на русло; здесь возведение дорогостоящих капитальных дамб и регулирующих сооружений экономически оправдано. В Уймонской котловине, при рассредоточенном размещении населенных пунктов и объектов инфраструктуры, предложена стратегия точечного размещения пассивных защитных сооружений и организационных мероприятий; но даже их стоимость часто превышает возможный ущерб от эпизодических наводнений.

Однако, кроме экономической целесообразности, важен социально-психологический аспект защитных мер. Восприятие угрозы зависит от осведомленности людей, обыденности или необычности явления, сложившихся стереотипов. Редко повторяющиеся, но разрушительные наводнения, локальный, но быстрый размыв берега, воспринимаются населением более обостренно. Проведение обоснованных защитных мероприятий, возможно малоэффективных по формальной денежной оценке, положительно влияет на субъективную оценку населением уровня защищенности как элемента комфортности среды обитания. Это воздействует на психологическое состояние, социальное поведение, жизненные планы, степень доверия к социуму и к системе управления (власти), т.е. на параметры, которые невозможно выразить деньгами, но проявление которых сказывается на хозяйственно-экономических показателях и уровне жизни населения.

ЛИТЕРАТУРА

Бердников А.В. Паводок в Республике Алтай: объективная оценка // Транспортная стратегия – XXI век. 2014. № 26.

Беликов В.В., Милитеев А.Н. Комплекс программ для расчета речных течений (FLOOD) // Российское агентство по патентным и товарным знакам. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2002610941. М.: 2002.

Беликов В.В., Зайцев А.А., Милитеев А.Н. Математическое моделирование сложных участков русел крупных рек. // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. №6.

Беликов В. В., Завадский А. С., Рулева С. Н., Чалов Р.С. Результаты моделирования спрямления русла р. Оби в районе г. Колпашево // Речной транспорт (XXI век). 2010. № 4.

Алексеевский Н.И., Крыленко И.Н., Беликов В.В., Кочетков В.В., Норин С.В. Численное гидродинамическое моделирование наводнения в г. Крымске 6-7 июля 2012 г. // Гидротехническое строительство. 2014. №3.

Головлёв П.П., Горячко М.Д., Завадский А.С., Крыленко И.Н., Крыленко И.В., Рулёва С.Н., Самохин М.А., Сурков В.В. Гидрологический режим и русловые процессы р. Томи в Кузбассе, характер затопления поймы реки и разработка мероприятий противопаводковой защиты населённых пунктов и хозяйственных объектов // Экологические аспекты эрозионных и русловых процессов. М.: МГУ. 2016.

Завадский А.С., Сурков В.В., Головлёв П.П., Крыленко И.В., Бабурин В.А., Горячко М.Д., Крыленко И.Н., Рулёва С.Н., Самохин М.А., Морозова Е.А., Чууженькова В.А., Школьный Д.И. Верхняя Катунь: условия формирования русла, гидрологический режим, русловые процессы, их экстремальные и опасные проявления и защита от них// Маккавеевские чтения – 2015: сборник материалов. М.: Географический ф-т МГУ. 2016.