

ГЛАВА 3

НАВОДНЕНИЯ

С. В. Борщ, А. Е. Асарин, М. В. Болгов, А. Я. Полунин

ВВЕДЕНИЕ

Люди в своем естественном стремлении улучшить условия проживания иногда принимают рискованные решения. Они, в частности, застраивают жилыми домами и техническими сооружениями участки местности вблизи рек, озер, на побережье морей невзирая на то, что эти территории подвержены повышенной опасности экстремальных природных и техногенных явлений, в том числе наводнений.

Под наводнением понимают стихийное затопление суши водой, выступившей из берегов, в результате сильных ливней, таяния снега (Российский гидрометеорологический словарь, 2009), нагонных или подпорных явлений.

Опасность наводнений зависит прежде всего от высоты подъема уровня воды в реке. При этом важнейшей характеристикой является максимальный уровень воды, который косвенно характеризует площадь, слой и продолжительность затопления местности. Наводнения угрожают более 70% территории суши.

В данной главе дана классификация наводнений, описаны условия и механизм их возникновения, приведены гидрометеорологические факторы, определяющие пространственный масштаб, интенсивность и продолжительность наводнений. Климатические изменения этих факторов — наблюдаемые и ожидаемые в будущем — вызывают и будут вызывать соответствующие изменения в характере наводнений, которые можно оценивать количественно с помощью приведенных в данной главе методов.

КЛАССИФИКАЦИИ НАВОДНЕНИЙ

Большинство населенных пунктов обычно расположено вблизи водных объектов — рек, озер, водохранилищ. В социальном плане привлекательность прибрежных территорий в гражданском строительстве определяется обычно близостью к водоемам центральных, исторически сложившихся районов городов. А это в свою очередь значительно облегчает решение транспортных вопросов для жителей прибрежных районов. Житейские причины застройки прибрежных территорий заключаются в стремлении обеспечить жителям новостроек более комфортные жилищные условия, поскольку, как правило, в большинстве городов парки, пляжи и другие зоны отдыха приближены к водоемам. В этих районах обычно и экологическая обстановка более благоприятна для проживания.

Хозяйственное освоение прибрежных территорий приводит к увеличению риска значительного материального и морального ущерба от затопления в период высокой водности рек. Размер ущерба от наводнений зависит от целого ряда причин, таких как высота и продолжительность стояния опасных уровней воды, площадь затопления, время года, в которое наблюдается наводнение, своевременность и точность прогноза наводнения, а также от организационных мероприятий, выполненных для предотвращения наводнения или уменьшения его неблагоприятных последствий. Немаловажное значение в определении объема суммарного ущерба имеют плотность на-

селения, плотность и время застройки и т. д. Очевидно, что чем плотнее застройка, тем при прочих равных условиях больше ущерб в пересчете на один гектар затопленной площади.

Причины, вызывающие наводнения, многообразны. Это прежде всего сезонное таяние снега, накопленного в предшествующий сезон года на равнинах и в горах, выпадение обильных жидких осадков, сильный ветер, ледовые и нагонные явления.

Все наводнения, несмотря на многообразие вызывающих их причин, могут быть объединены в шесть основных типов по особенностям формирования. Они описаны ниже.

Для огромного большинства речных бассейнов России основной тип наводнений связан с таянием снега, накопленного в бассейнах рек в зимний период. Эти наводнения происходят исключительно в весенний период года. Продолжительность формирования высоких уровней воды составляет от нескольких суток до 1,5—2 месяцев и зависит от таких факторов, как площадь и средний уклон поверхности бассейна реки, степень покрытия лесами территории, а также площади, занятой болотами, почвенного покрова и некоторых других факторов. Как правило, такие наводнения наблюдаются на равнинных реках.

Другой причиной наводнений являются интенсивные осадки и вызываемые ими высокие дождевые паводки. Этот тип наводнений наблюдается как в бассейнах равнинных рек, так и в горных бассейнах.

В горных районах наводнения этого типа являются быстро развивающимися: от момента выпадения осадков до начала интенсивного подъема уровня воды в реке может проходить менее 1—3 ч, а сама высота подъема уровня зависит почти полностью от количества выпавших осадков.

На равнинах процесс формирования высоких дождевых паводков более сложный и продолжительный, а от момента выпадения осадков до начала подъема уровня воды в реке может пройти от нескольких часов до несколь-

ких суток (для крупных речных систем, например, р. Амур — до 5—7 дней). Высота подъема уровня воды зависит от многих факторов, в первую очередь, от количества выпавших осадков, их интенсивности, а также от состояния почвенного слоя бассейна (его увлажнения) и запасов воды в речной системе.

В горных районах в случае выпадения сильных дождей большой интенсивности наблюдается процесс забивания почвенных пор мелкодисперсными частицами почвы (кольматаж). В этом случае резко уменьшаются инфильтрационные свойства почвы, увеличивается коэффициент поверхностного стока, а паводки могут принять характер катастрофических наводнений, особенно в случае охвата большими осадками значительной части площади речного бассейна.

На некоторых устьевых участках рек наводнения вызываются нагоном воды с моря. Наводнения этого типа происходят чаще всего в умеренных широтах Северного полушария. Они могут развиваться быстро: от начала повышения уровня воды в реке до достижения уровнем максимальной отметки может проходить от одного до 6—12 ч. Примерами наводнений такого типа могут быть те, что происходят на р. Нева у г. Санкт-Петербург (Россия).

Очень опасными являются наводнения, которые происходят в результате формирования заторов льда в период установления ледяного покрова осенью или разрушения льда на реке в весенний период. Наводнения этого типа случаются на северных реках, которые текут с юга на север. В результате формирования заторов льда в русле реки образуется искусственная ледяная плотина, выше которой уровень воды в реке резко повышается, а ниже затора происходит резкое понижение уровня воды. Подъем уровня воды в реке выше затора льда может достигать десятков метров, что приводит к затоплению водой большой территории. Часто в период таких наводнений происходит резкое понижение температуры воздуха, что значи-

тельно затрудняет проведение спасательных мероприятий.

Еще один тип наводнений связан со строительством и эксплуатацией водохранилищ. Водохранилища строятся для решения целого комплекса задач, важнейшими из которых являются управление водными ресурсами речной системы с целью их перераспределения во времени и пространстве, выработка электроэнергии, обеспечение нормального водоснабжения городов, орошения сельскохозяйственных угодий, нормальной работы речного флота и др.

Однако при неправильном регулировании работы водохранилищ в годы с высокой водностью рек возможно превышение уровнем воды в водохранилище некоторых критических значений. В этом случае происходит затопление территорий, расположенных вблизи водохранилища. Из-за создания дополнительного напора на плотину может произойти даже ее разрушение, при котором возникает высокая волна, приводящая к затоплению территорий, расположенных вдоль реки ниже плотины.

Огромный ущерб экономике и опасность для населения многих стран связаны с наводнениями, вызываемыми тропическими циклонами (тайфунами). Эти наводнения сопровождаются большими разрушениями, вызванными огромной скоростью ветра.

Кроме описанной выше классификации наводнений, основанной на их причинах, имеются также классификации наводнений по степени опасности. Так, в соответствии с одной из них в зависимости от размера наводнений и наносимого ими суммарного ущерба различают небольшие, большие, выдающиеся и катастрофические наводнения (Нежиховский, 1988). При этом к небольшим наводнениям относят наводнения, которые повторяются раз в 5—8 лет (обеспеченность* максимальных уровней 15—20%); к большим наводнениям относят те из них, которые повторяются раз

в 10—25 лет (обеспеченность максимальных уровней 4—10%) и сопровождаются, как правило, частичной эвакуацией населения; к выдающимся наводнениям относят наводнения, которые повторяются раз в 50—100 лет (обеспеченность максимальных уровней 1—2%), охватывают крупную речную систему, почти полностью парализуют хозяйственную деятельность и приводят к массовой эвакуации населения; к катастрофическим наводнениям относят наводнения, которые повторяются реже чем раз в 100 лет (обеспеченность максимальных уровней менее 1%), надолго парализуют хозяйственную деятельность и сопровождаются человеческими жертвами.

В последние годы в России для классификации всех природных катастроф (в том числе и наводнений) была разработана шестибальная типизация, в основу которой положены размеры последствий стихийных бедствий. При этом самому низшему типу опасности (незначительно опасные наводнения) присвоен балл 1, а самому опасному типу — балл 6 (Осипов и др., 1999). В соответствии с этой классификацией:

— незначительно опасные (балл 1) стихийные бедствия вызывают незначительные повреждения отдельных зданий и ущерб до 0,15 млн. долларов США;

— малоопасные (балл 2) стихийные бедствия вызывают повреждения и умеренные разрушения зданий и сооружений, ущерб до 1,5 млн. долларов США;

— умеренно опасные (балл 3) стихийные бедствия вызывают умеренные и реже сильные разрушения, как правило, проходят без жертв с ущербом до 15 млн. долларов США;

— опасные (балл 4) стихийные бедствия вызывают сильные и умеренные разрушения на отдельных локальных участках местности, приводят к единичным человеческим жертвам, сопровождаются ущербом до 150 млн. долларов США;

* Для случайной величины обеспеченность заданного уровня есть вероятность его превышения.

— весьма опасные (балл 5) стихийные бедствия приводят к массовым разрушениям на ограниченных площадях, жертвам среди населения, а ущерб от этих наводнений достигает до 500 млн. долларов США;

— чрезвычайно опасные (балл 6) стихийные бедствия вызывают массовые разрушения на больших площадях, человеческие жертвы и ущерб более 500 млн. долларов США.

В зарубежной литературе встречаются и более общие классификации, аналогичные приведенной выше. Так, в Австралии по классификации Бюро метеорологии (Flood Warning...) принято выделять три группы наводнений — большие, умеренные и малые. При этом считается, что они имеют следующие характеристики.

Большие наводнения приводят к затоплению больших площадей, изоляции малых и крупных городов. Основные нарушения происходят на автомобильных и железных дорогах, может понадобиться эвакуация населения. В сельской местности происходят обширные затопления сельскохозяйственных угодий.

Умеренные наводнения приводят к затоплению низинных областей, могут потребовать эвакуации части проживающих в зонах затопления людей, может нарушаться движение транспорта из-за затопления отдельных участков автомобильных дорог.

Малые наводнения вызывают неудобства, такие как закрытие второстепенных дорог и мостовых переходов, расположенных низко над водой.

Среди других классификаций наводнений следует отметить классификацию, приведенную в изданиях Международного совета по науке (ICSU) (Science Plan..., 2008). В соответствии с ней выделяют следующие категории:

— прибрежные наводнения — наводнения, вызванные поступлением в устья рек и на пониженные участки местности морской (океанской) воды в результате ветровых нагонов или волн цунами;

— быстроразвивающиеся паводки и вызванные ими наводнения — стремительно (в течение 3—6 ч) развивающиеся дождевые паводки на малых речных бассейнах, в овражно-балочной системе, ручейковой сети, приводящие к наводнениям;

— речные наводнения — затопление прибрежных территорий, расположенных вдоль речных русел в период сезонного таяния снежного покрова или в результате выпадения обильных осадков;

— городские наводнения — наводнения, сформированные в пределах городской территории в результате выпадения интенсивных осадков, таяния снежного покрова и уменьшения поглощающей способности подстилающей поверхности, а также недостаточной пропускной способности ливневой канализации;

— облачный взрыв — наводнения в пределах малой географической области, вызванные обильными ливнями.

Надо отметить, что второй и пятый типы наводнений по последней классификации очень близки по своему генезису и характеру развития, поэтому их обычно объединяют в один тип — быстроразвивающиеся паводки и наводнения.

Таким образом, сложность и многообразие процессов формирования наводнений нашло свое отражение в разных подходах к классификации этих природных явлений. Невозможно однозначно определить, какая из перечисленных выше классификаций может быть рекомендована для условий России. Для решения конкретных задач применяется та или иная классификация. Так, например, в системах раннего предупреждения обычно используется балльная классификация, поскольку она в наиболее концентрированном виде дает возможность пользователям системы быстро оценить степень опасности ожидаемого наводнения. Нередко используются одновременно несколько классификаций.

ПОВТОРЯЕМОСТЬ НАВОДНЕНИЙ В РАЗНЫХ РЕГИОНАХ

Во многих странах мира наводнения являются главной природной угрозой для жизни людей и экономики (Berz, 2000). Им подвержены как страны с развивающейся экономикой, так и экономически мощные. На рис. 3.1 приведена информация о распределении в мире числа наводнений и засух в 1973—2002 гг. Отметим, что число наводнений намного превышает число засух.

Наводнения случаются практически во всех регионах планеты, за исключением Антарктиды и зон пустынь. Наиболее паводкоопасными регионами являются Дальний Восток, Юго-Восточная Азия, Центральная Азия и Южная Америка, где наводнения связаны с обильными осадками. Число зарегистрированных здесь наводнений за 30 лет с 1973 по 2002 г. составило от 173 до 337. Достаточно часто наводнения происходят также в Восточной Европе, в Северной и Центральной Америке, в странах Карибского бассейна, в За-

падной и Восточной Африке. Примечательно, что число наводнений и число засух в Африке близки.

В табл. 3.1 приведены десять наиболее разрушительных стихийных бедствий, произошедших в 1973—2002 гг. В результате их воздействия пострадали в общей сложности 1811,4 млн. человек, причем эти стихийные бедствия были связаны только с засухами и наводнениями. Число пострадавших от наводнений — 1021,4 млн. человек (или 56%), большинство пострадавших проживали в Китае.

В последние десятилетия в мире прослеживается тенденция увеличения числа катастрофических разрушительных наводнений. Например, в Европе (рис. 3.2) в 1973—2002 гг. число разрушительных наводнений увеличилось с 31 (в 1973—1982 гг.) до 177 (в 1993—2002 гг.). Наиболее часто они происходили в восточной ее части, что подтверждается данными рис. 3.3а. Не стал исключением и 2010 г., когда опустошительные наводнения, вызванные обильными дождями, привели к затоплению обширных районов Польши, рас-

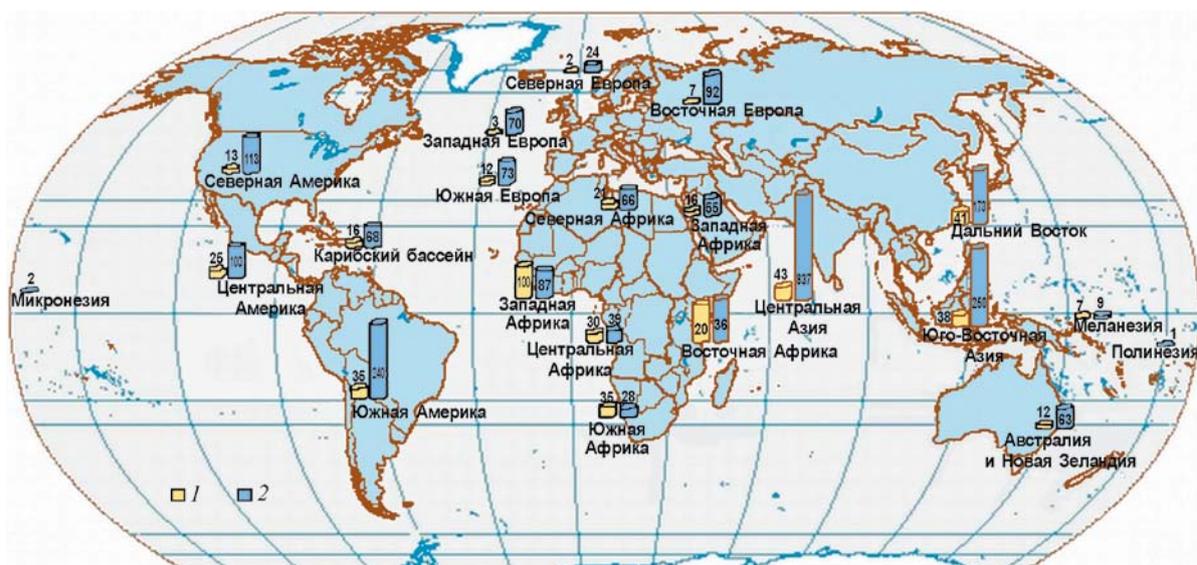


Рис. 3.1. Распределение числа засух (1) и наводнений (2) в мире за 1973—2002 гг. (EM-DAT, 2003).

Глава 3. Наводнения

Таблица 3.1. Десять наиболее разрушительных стихийных бедствий, произошедших в 1973—2002 гг. (Guha-Sapir et al., 2003)

Тип стихийного бедствия	Год	Страна	Число пострадавших, млн. человек
Засуха	1987	Индия	300
Засуха	2002	Индия	300
Наводнение	1988	Китай	223
Наводнение	1991	Китай	206
Засуха	1979	Индия	190
Наводнение	1996	Китай	150
Наводнение	1993	Индия	128
Наводнение	1995	Китай	114,4
Наводнение	1999	Китай	100
Наводнение	1989	Китай	100

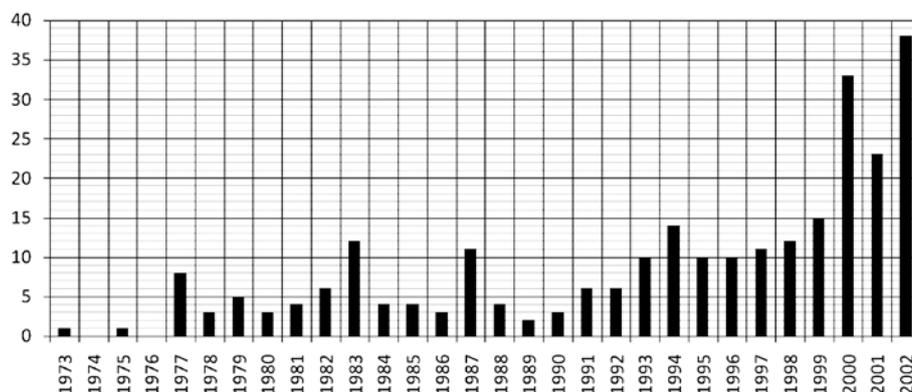


Рис. 3.2. Изменение во времени числа разрушительных наводнений в Европе в 1973—2002 гг. (Hoyios, Guha-Sapir, 2003).

положенных в бассейне Вислы, в том числе и некоторых районов Варшавы. Значительно увеличилось и число жертв от наводнений, особенно в Восточной и Южной Европе (рис. 3.3б). Так, в Восточной Европе в 1973—1982 гг. от наводнений погибли 80 человек, а в 1993—2002 гг. — 780 человек, т. е. число жертв наводнений увеличилось более чем в девять раз.

По данным Дортмундской паводковой лаборатории, в период с 1985 г. до середины 1990-х годов ежегодное общее число наводнений в мире колебалось в пределах 50—150. Однако в дальнейшем постепенно произошло значительное увеличение числа наводнений, которое к 2003 г. достигло 300 за год (рис. 3.4).

Наиболее распространенными в мире являются наводнения, связанные с дождевыми

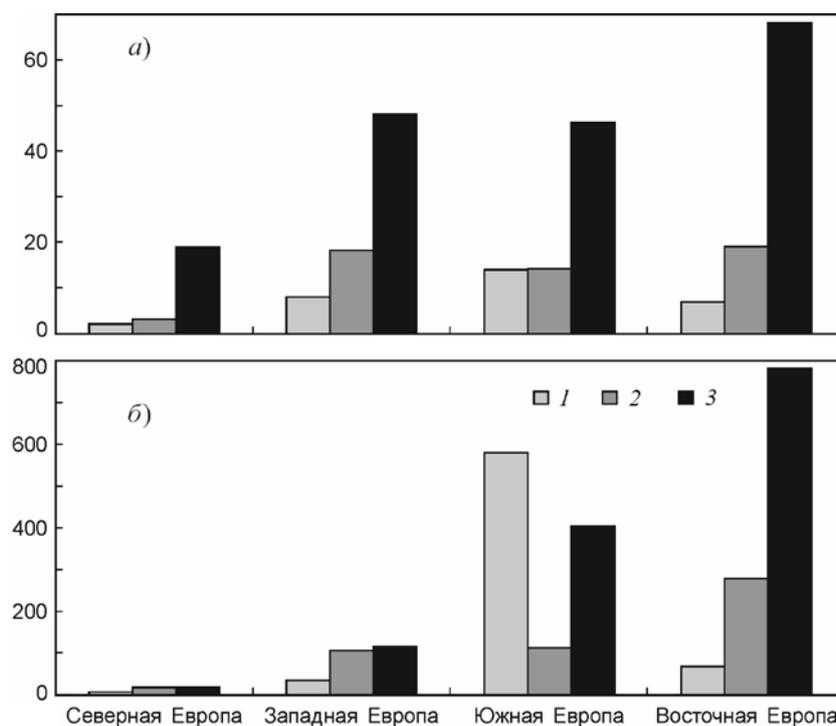


Рис. 3.3. Распределение числа разрушительных наводнений (а) и число жертв наводнений (б) в Европе за период 1973—2002 гг. (Hoyios, Guha-Sapir, 2003). 1) 1973—1982 гг.; 2) 1983—1992 гг.; 3) 1993—2002 гг.

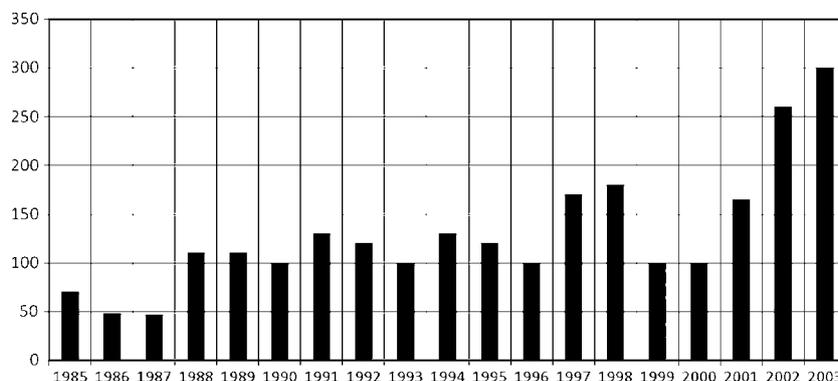


Рис. 3.4. Число наводнений в мире за период 1985—2003 гг. Данные Дортмундской паводковой лаборатории (<http://www.dartmouth.edu/~floods/archiveatlas/index.htm>).

паводками, сформированными в результате выпадения сильных дождей. По данным Дортмундской паводковой лаборатории, за период 1985—2003 гг. число таких наводнений превысило 1300 (рис. 3.5). Кратковременные дожди

на равнинной территории привели к наводнениям в 280 случаях, а тропические циклоны — в 210. Менее 100 случаев приходится на наводнения, связанные с таянием снежного покрова. В то же время число наводнений, вызванных

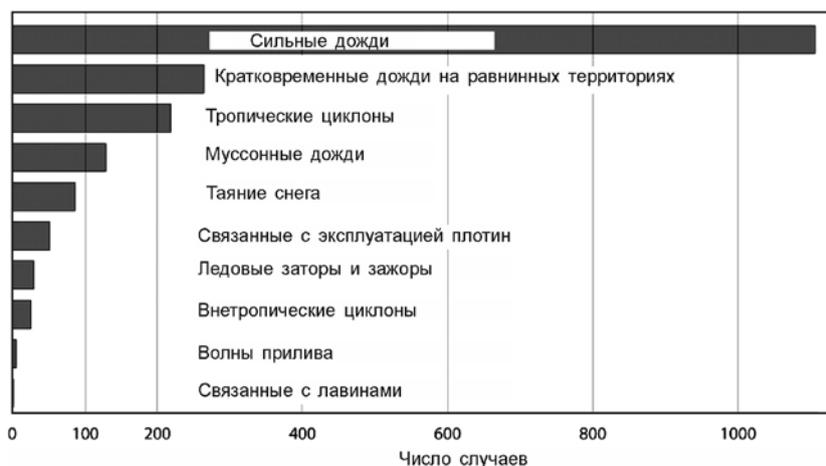


Рис. 3.5. Число наводнений в мире за период 1985—2003 гг., сгруппированных по вызвавшим их причинам. Данные Дортмундской паводковой лаборатории (<http://www.dartmouth.edu/~floods/archiveatlas/index.htm>).

работой гидротехнических сооружений, превысило за рассматриваемый период времени число наводнений от ледовых заторов (зажоры), внетропических циклонов и ветровых нагонов.

ВЛИЯНИЕ НАВОДНЕНИЙ НА БЕЗОПАСНОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ

Наибольший интерес для исследователей представляют в первую очередь катастрофические наводнения. Прошое столетие было

отмечено целой серией подобных наводнений. В табл. 3.2 приведены примеры десяти наиболее катастрофических наводнений, произошедших в мире за последние 100 лет и приведших к наибольшим человеческим жертвам. Данные этой таблицы подтверждают тот факт, что наводнение является грозным, чрезвычайно опасным и разрушительным природным бедствием. Оно может угрожать не только небольшим регионам, но и существованию целых государств. Так, в результате июльского наводнения 1931 г. в Китае погибли 3,7 млн. человек, что сопоставимо с населением не-

Таблица 3.2. Примеры крупнейших за последние 100 лет наводнений (Science Plan on Hazards and Disasters..., 2008)

Страна	Дата наводнения	Число жертв, тыс. человек
Китай	Июль 1931 г.	3700
То же	Июль 1959 г.	2000
»	Июль 1939 г.	500
»	1935 г.	142
»	1911 г.	100
»	Июль 1949 г.	57
Гватемала	Октябрь 1949 г.	40
Китай	Август 1954 г.	30
Бангладеш	Июль 1974 г.	28,7
Мьянма	2008 г.	10

которых европейских государств. В апреле 1991 г. в результате тропического циклона, вызвавшего катастрофическое наводнение в Бангладеш, погибли 130 тыс. человек.

Материальный ущерб от наводнений может достигать десятков миллиардов долларов США. В Китае в период с 12 июня по 30 августа 1998 г. произошло 13 наводнений, которые затронули почти всю территорию страны. От наводнений пострадали 240 млн. человек, свыше 56 млн. человек пришлось временно эвакуировать, тысячи человек погибли. Только материальный ущерб от летних наводнений 1998 г. в Китае составил 30 млрд. долларов (Kundzewicz, 2006).

НАВОДНЕНИЯ В РОССИИ

Весьма велика угроза наводнений и в России, где площадь паводкоопасных территорий составляет 400 тыс. км²; из них 50 тыс. км² ежегодно подвергается затоплению. Катастрофические наводнения происходили в прошлом

и могут повториться в будущем на территории, где расположены 300 городов, десятки тысяч населенных пунктов и более 7 млн. га сельскохозяйственных угодий (Малик, 2003; Таратунин, 2000). В табл. 3.3 приведены средние многолетние значения ущерба от наводнений по разным регионам Российской Федерации и разным водным объектам.

Из данных табл. 3.3 следует, что в России наибольшие значения ущерба от наводнений отмечаются в бассейне р. Волга (включая бассейн р. Ока), в бассейне р. Амур с притоком р. Уссури и на реках Северного Кавказа, прежде всего в бассейне р. Кубань.

Особенно важной характеристикой является величина совокупного ущерба в расчете на 1 км² территории. Это один из показателей, который позволяет сравнивать наводнения и их последствия в разных речных бассейнах. Как наглядно показано в табл. 3.3, по этому показателю наиболее опасным с точки зрения ущерба от наводнений является бассейн р. Кубань.

Таблица 3.3. Распределение среднемноголетних значений ущерба от затопления хозяйственных объектов по бассейнам рек России на конец XX в., млн. руб. (в ценах 1991 г.) (Доброумов, Тумановская, 2002)

Бассейны рек	Вид ущерба		
	прямой	совокупный	удельный совокупный, руб./ км ²
Севера и северо-запада Европейской России	32,2	50,3	40,1
Волги	615	968,6	712,0
Дона	218	340,1	806,0
Кубани	134,7	210,1	3629,0
Северного Кавказа и Республики Калмыкия (без р. Кубань)	382,7	597	1807,0
Урала	20,5	32	139,0
Западной Сибири	277,2	423,6	141,0
Восточной Сибири (без Забайкалья)	34,6	54	7,5
Забайкалья	163,7	255	325,0
Амура	584	911	491,0
Сахалина и Камчатки	109,4	170,7	305,0
Всего:	2572	4012	

Среднемноголетнее значение ежегодного ущерба от наводнений в Российской Федерации на конец XX в., по оценке Министерства природных ресурсов России (МПР), составляет примерно 1,5 млрд. долларов США. По другим данным (Малик, 2003), он достигает 30 млрд. долларов США. Для оценки потенциальной опасности наводнений для разных регионов нашей страны в начале 1990-х годов Росгидрометом была разработана “Карта опасности развития наводнений на территории России” (рис. 3.6), на которой выделены районы с разной степенью подверженности наводнениям и опасности их последствий. В ее основу были положены данные многолетних наблюдений за уровнями воды на наблюдательной сети Росгидромета. Базу для картирования составили максимальные за год уровни воды, а в качестве вспомогательной информации использовались сведения о критических отметках, при превышении которых начинается затопление прибрежных территорий. В качестве параметров опасности процесса затопления были приняты рассчитанные по рядам максимальных уровней значения повторяемости превышения опасных отметок, максимальные величины превышения наблюдаемых наивысших уровней воды на конкретном наблюдательном посту над уровнем начала затопления, а также площади затопления прибрежных территорий.

На основе анализа данных наблюдений на сети гидрологических станций и постов о глубине затопления прибрежных территорий и повторяемости наводнений были выделены районы с разной степенью опасности в отношении наводнений (Природные опасности России, 2001). К наиболее опасным районам были отнесены бассейны Верхней и Средней Оки, Кубани, Тобола, Среднего и Нижнего Енисея с притоками, отдельные участки Средней Лены и ее притоков — Алдана, Витима, Олекмы, а также реки юга Приморского края. Здесь наводнения могут повторяться раз в 2—3 года, а максимальная глубина затопления может превышать 3,3 м.

В бассейнах Верхнего Дона, Верхнего Днепра, Нижнего Тобола, Верхнего Енисея, Верхнего Амура, на большей части территории Приморского края и Сахалина, рек Республики Саха (Якутия) и северо-востока Сибири повторяемость наводнений составляет от одного случая в 2—3 года до одного наводнения в 10 лет, а максимальная глубина затопления может достигать 3,2 м.

В бассейнах рек Белая и Урал, на Среднем и Нижнем Иртыше, в верховьях Оби, на притоках Ангары, а также в среднем и нижнем течении Амура повторяемость наводнений также довольно большая — один случай в 3—5 лет при максимальной глубине затопления прибрежных территорий 2 м.

Приведенное выше районирование отражает преобладающий тип наводнения и не исключает возникновения там и более опасных наводнений. Так, например, в 1994 г. в Калмыкии, где потенциальная вероятность наводнений незначительна, в период весеннего половодья произошло наводнение, близкое к катастрофическому.

В течение последних двадцати лет во многих регионах нашей страны произошли опасные наводнения. Наиболее разрушительными они были в бассейнах Тобола, на притоках Северной Двины, на Печоре, реках Заволжья и Приморского края, на Лене, Кубани и ряде других рек. На основе статистического анализа данных о затоплениях, отмеченных сетью гидрологических станций и постов Росгидромета, установлено, что в 1990—2010 гг. на европейской части России наибольшее число наводнений было отмечено в 1994 и 2005 гг. (рис. 3.7а), а на азиатской части России — в 2010 г. (рис. 3.7б). При этом на азиатской территории наблюдается постепенное увеличение числа опасных наводнений.

Отмеченная тенденция к увеличению частоты и интенсивности наводнений ведет к повышению риска возникновения катастрофических гидрологических событий — последствий наводнений, представляющих угрозу целым регионам нашей страны.

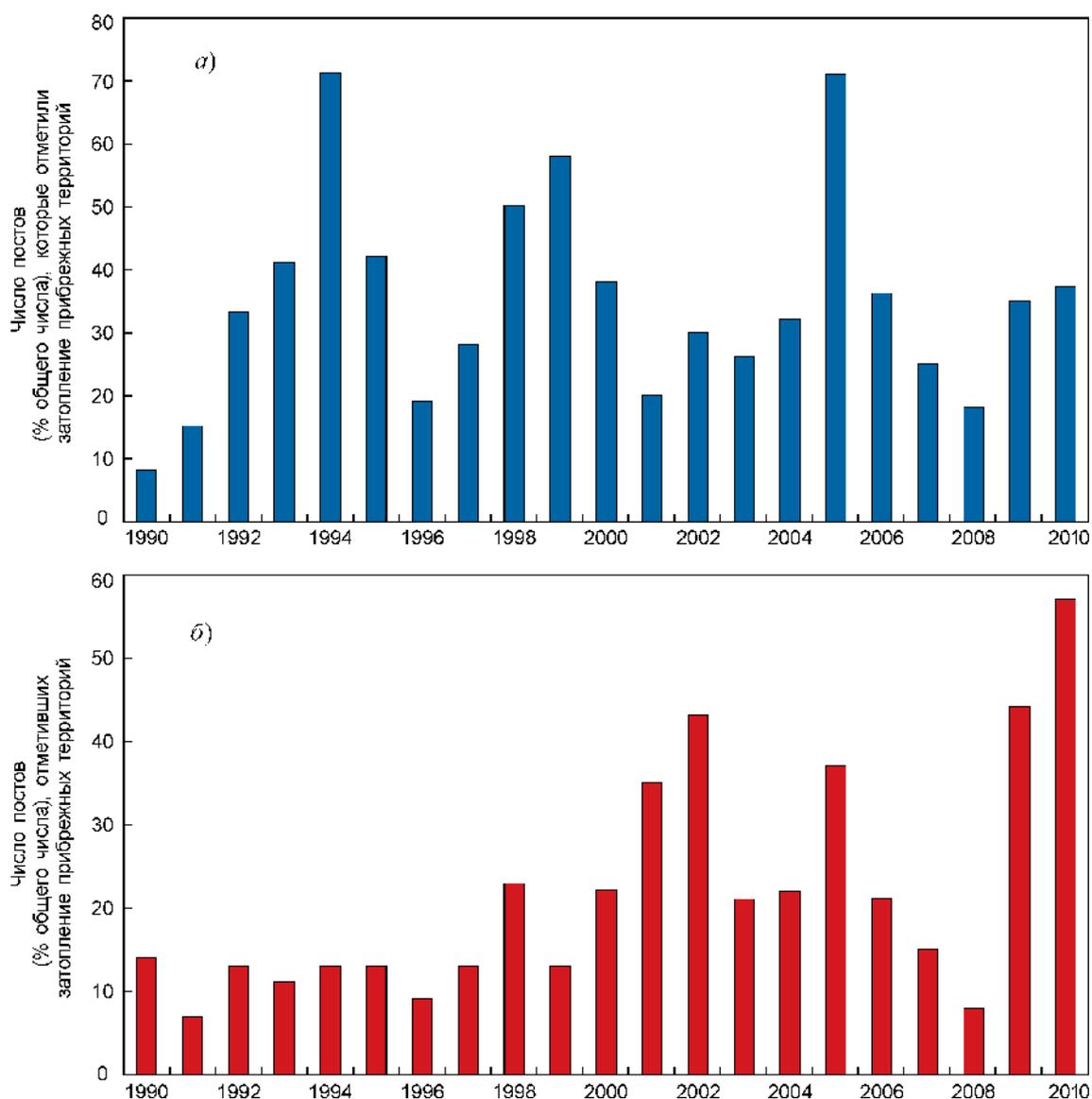


Рис. 3.7. Распределение по годам числа наводнений, зарегистрированных центральной наблюдательной сетью Росгидромета в 1990—2010 гг. на европейской (а) и азиатской (б) территории России.

СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О НАВОДНЕНИЯХ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Для мониторинга и прогнозирования развития гидрологической ситуации практически во всех странах мира созданы и функционируют

сети гидрологических станций и постов. Они являются основным источником информации о гидрологическом режиме и состоянии водных объектов. Сеть мониторинга представляет собой группу станций (постов), предназначенных для проведения наблюдений, определенных специальной программой, и решения одной или целого ряда взаимосвязанных задач.

В нашей стране существуют два основных типа гидрологических постов:

— режимные посты (не передающие ежедневно данные наблюдений в центры сбора информации и предназначенные, прежде всего, для выполнения работ по учету стока рек);

— оперативные посты (ежедневно передающие данные наблюдений для использования их в оперативно-производственной, в том числе, прогностической деятельности).

Оптимальное размещение гидрологических постов определяется физико-географическими условиями территории. Решение вырабатывается на основе районирования территории по условиям формирования стока с выделением зональных и азональных водных объектов (Карасев, 1968). В пределах достаточно обширного района элемент гидрологического режима (т. е. гидрологическую величину) можно характеризовать полем ее значений. Обычно принимаются предположения о его изотропности* и квазиоднородности**. Это позволяет применять методы пространственной интерполяции для определения значений гидрологических параметров в неосвещенных наблюдениями районах.

В настоящее время признано, что создание полномасштабной и всеобъемлющей сети мониторинга где-либо в мире или невозможно, или непрактично (Guide on Hydrologic Practice, 1994, 2009). Поэтому при планировании размещения наземной сети вместо стремления создать полномасштабную (пригодную для решения любых задач) и совершенную сеть используют ряд других подходов. Так, вместо оптимизации экономической ценности данных прибегают к максимизации содержания данных наблюдений (Guide on Hydrologic Practice, 1994, 2009). В этом случае исходят из предположения, что чем больше информации, тем больше вероятность, что она внесет свой вклад

* Изотропность — одинаковые статистические свойства поля по всем горизонтальным направлениям.

** Квазиоднородность — одинаковые математические ожидания рассматриваемой гидрологической величины во всех точках изучаемой области пространства.

в экономическую эффективность данных наблюдений. Однако совершенно очевидно, что количество информации не может иметь прямую линейную связь с ее экономической значимостью. В районах с хорошо развитой сетью ее экономическая значимость уже близка к возможному пределу, к уровню насыщения. Линейная связь работает в слабоосвещенных гидрологическими наблюдениями бассейнах.

К числу аналитических подходов, наиболее часто применяемых для оптимизации структуры наблюдательной сети, относятся методы (Guide on Hydrologic Practice, 1994, 2009; Vuglinsky et al., 1995) пространственного анализа (картографический метод), корреляционного и регрессионного анализа, вероятностного и детерминированного моделирования, районирования.

Выбор того или иного подхода в конкретном случае зависит от многих факторов, в том числе от типа проблем, решаемых с помощью разрабатываемой наблюдательной сети, предполагаемого объема экономических затрат, степени освещенности территории данными наблюдений, плотности населения района и его экономического потенциала. В нашей стране при проектировании сети гидрологического мониторинга использовался генетический принцип оценки формирования стока, основанный на методах пространственного анализа и районирования. Именно с началом становления сети были связаны основополагающие работы по районированию территории страны по особенностям формирования разных элементов гидрологического режима, по типам питания рек, по внутригодовому распределению стока и др. (Кузин, 1972).

Оптимальное размещение станций гидрологического мониторинга основывается на следующих критериях (Guide on Hydrologic Practice, 1994, 2009; Vuglinsky et al., 1995):

— определении такой густоты сети, которая, с одной стороны, была бы достаточной для решения поставленных перед ней задач, а с другой стороны, не требовала бы открытия чрезмерного количества постов с большим

числом персонала и неоправданными затратами материальных ресурсов;

— оптимизации структуры наблюдательной сети с точки зрения критериев экономической эффективности в отраслях экономики, использующих гидрологическую информацию;

— достаточности количественного состава и пространственного распределения сети для решения задач, поставленных при ее проектировании и создании.

Оптимизация экономических затрат на создание сети может быть достигнута путем определения сроков и очередности развертывания постов, определения минимально достаточной программы работ, оптимизации состава оборудования и средств телекоммуникации. Полный проект сети должен отвечать на следующие вопросы:

— каков состав наблюдений на каждой гидрологической станции (посту);

— где будет располагаться каждая конкретная станция (пост);

— какова периодичность наблюдений (частота);

— какова продолжительность программы наблюдений;

— какова точность проводимых измерений.

Важнейшим показателем, характеризующим достаточность числа гидрологических постов, является площадь территории, освещаемая одним постом. В соответствии с рекомендациями ВМО, приведенными в “Техническом регламенте. Том III. Гидрология” (ВМО — № 49), плотность наблюдательной сети гидрологического мониторинга должна быть достаточна для надежного определения гидрологических характеристик в пределах конкретного региона. При этом данные измерений должны иметь требуемую точность. С другой стороны, при планировании сети гидрологических станций должны быть приняты во внимание требования глобальных и региональных гидрологических программ, и,

в связи с этим, все реки со средним годовым расходом воды более $100 \text{ м}^3/\text{с}$ или с площадью водосборов более $100\,000 \text{ км}^2$ должны освещаться наблюдениями, т. е. иметь не менее одного гидрологического поста или станции, осуществляющих наблюдения за характеристиками гидрологического режима водного объекта (Guide on Hydrologic Practice, 1994, 2009).

Касаясь выбора оптимальной структуры сети станций для целей гидрологического прогнозирования, рекомендации ВМО (Guide on Hydrologic Practice, 1994, 2009) отмечают, что в данном случае необходимо руководствоваться анализом особенностей формирования гидрологического режима водного объекта. Необходимо, чтобы наблюдениями были освещены зоны формирования стока (высокогорные зоны, малые реки, озера, из которых вытекают реки, и т. п.), транзитные участки рек с резким изменением расходов воды на участке, а также участки бассейна с азональным формированием стока (карстовые бассейны, заболоченные территории и т. п.).

В настоящее время в Российской Федерации в среднем на гидрологический пост Росгидромета приходилось 5250 км^2 . При этом если рассматривать только информационные посты, данные с которых ежедневно поступают в оперативные прогностические центры, то эта площадь доходит до 9440 км^2 . В США гидрологический пост приходится на 450 км^2 , в Канаде — на 2150 км^2 , в Индии — на 1400 км^2 , в Китае — на 2000 км^2 .

Однако густоту наблюдательной сети (площадь, в среднем приходящуюся на один гидрологический пост или станцию) нужно рассматривать одновременно с конкретными свойствами данной территории. В России есть регионы с очень небольшой плотностью населения (менее одного человека на 1 км^2), где невозможно организовать стационарную наблюдательную сеть даже в случае крайней необходимости. В нашей стране между густотой наблюдательной сети и плотностью населения

имеется достаточно тесная, хорошо выраженная связь — с увеличением плотности населения увеличивается и густота сети.

Кроме сети гидрологического мониторинга Росгидромета, в нашей стране существуют и другие ведомственные сети гидрологических станций и постов. Из них наиболее значительное число принадлежит Росводресурсам. В настоящее время количество ведомственных постов, функционирующих вне системы Росгидромета, — 123, и по сравнению с 1990 г. она сократилась более чем в пять раз. В составе гидрологической сети Росгидромета за тот же период сокращение составило 16%.

Функции мониторинга и прогнозирования развития гидрологической ситуации на реках, озерах и водохранилищах, в том числе и задачи прогнозирования наводнений, в Российской Федерации возложены на Федеральную службу по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Отличительной особенностью и большим преимуществом системы гидрологического прогнозирования в нашей стране является то, что гидрологическая и метеорологическая службы объединены в единую гидрометеорологическую службу. Это позволяет оперативно решать проблемы, которые возникают при прогнозировании опасных гидрологических явлений, в том числе и наводнений.

В Российской Федерации в службе гидрологических прогнозов функционируют около 3100 гидрологических станций и постов, 83 региональных центра по гидрометеорологии, 23 территориальных гидрометеорологических центра при управлениях Росгидромета, а также Гидрометцентр России — ведущая организация в области гидрометеорологических, в том числе и гидрологических, прогнозов (рис. 3.8).

Основными потребителями прогностической продукции, в том числе и связанной с наводнениями, являются Правительство Российской Федерации, заинтересованные министерства и ведомства, энергетические,

транспортные, строительные компании, коммунальное хозяйство и др.

В последние десятилетия во многих странах мира разрабатываются и действуют разные системы раннего предупреждения и системы предупреждения о наводнениях. Эти системы предусматривают комплексы мер, которые предпринимаются для минимизации ущерба от наводнений. Системы предупреждения о наводнениях обычно включают в себя (Guide on Hydrologic Practice, 1994, 2009; Mosley, 1994) следующие подсистемы:

- наблюдений за состоянием рек, озер и водохранилищ;
- передачи информации до пункта ее сбора (и (или) обработки);
- первичного контроля и обработки информации;
- прогнозирования и доведения прогнозов до конкретных пользователей;
- выработки и принятия решений на основе выпущенного прогноза (или предупреждения);
- информирования населения об опасности наводнений и о действиях, которые необходимо предпринять каждому человеку, попавшему в зону предполагаемого затопления;
- обучения населения;
- проведения спасательных работ и ликвидации последствий наводнений.

Системы предупреждения о наводнениях действуют на общегосударственном, региональном или местном уровнях. Первичная цель системы состоит в том, чтобы обеспечить должностных лиц, ответственных за принятие решений, информацией об ожидаемых наводнениях и о текущей гидрологической ситуации вообще. Другая, не менее важная, функция систем предупреждения о наводнениях состоит в обеспечении информацией процесса управления водными ресурсами.

Развитие систем предупреждений о наводнениях тесным образом связано с общим состоянием национальной службы гидрометеорологических прогнозов. Наиболее давнюю

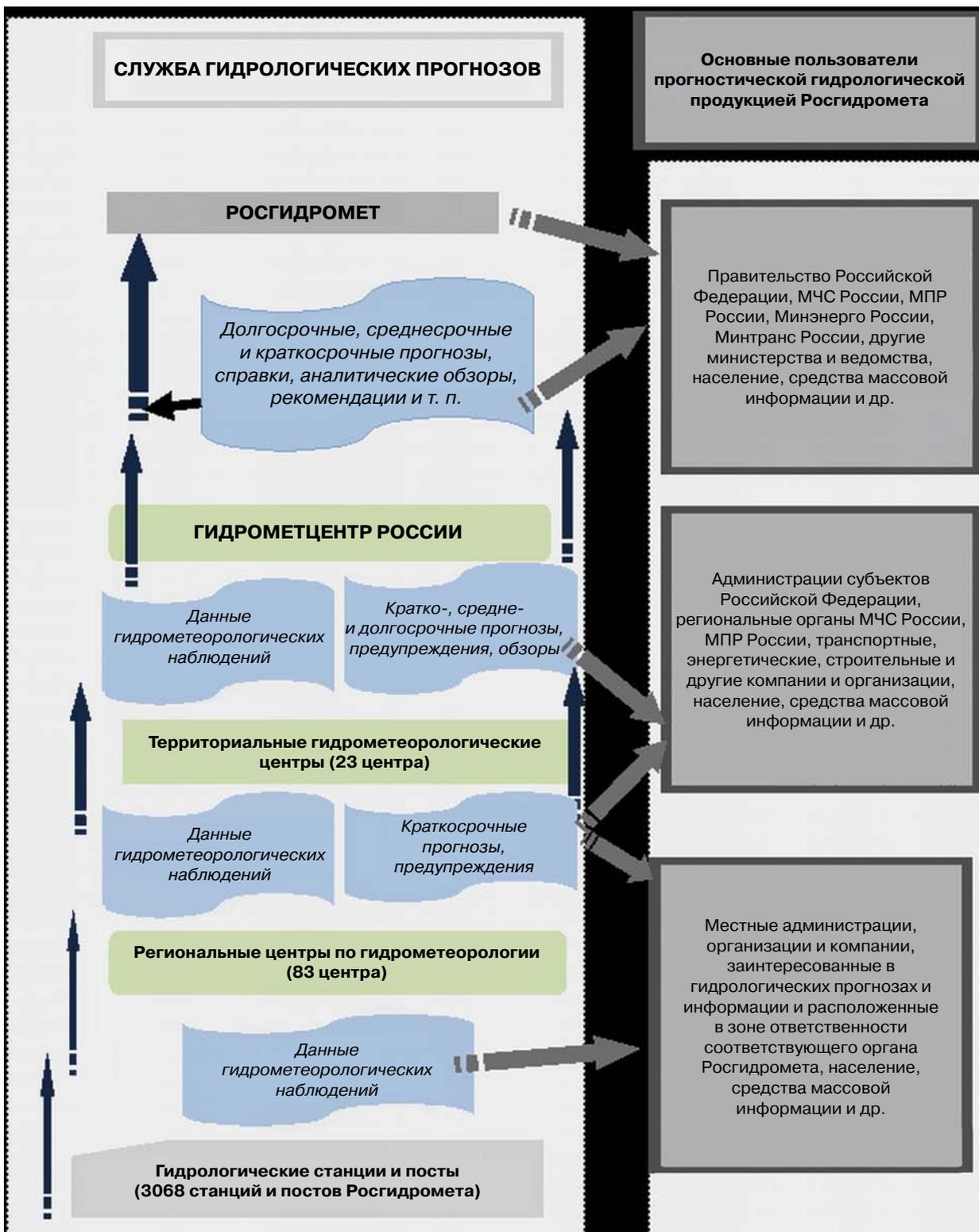


Рис. 3.8. Структура службы гидрологических прогнозов Росгидромета.

историю имеют системы защиты от наводнений в Нидерландах, где около четверти территории расположено ниже уровня моря и около 2/3 территории подвержено опасности наводнений.

Наиболее интенсивные работы по борьбе с наводнениями и разработке систем предупреждения об их возникновении проводились и проводятся в США. В этой стране на локальном и национальном уровнях функционирует система предупреждения о стихийных бедствиях, в том числе и наводнениях. Эта система предусматривает также обучение населения действиям в чрезвычайных ситуациях. В США разработка систем предупреждения о наводнениях велась с 1970-х годов. В этих работах принимали участие как многочисленные научные организации, университеты, военные организации, так и частные фирмы.

В борьбе с последствиями наводнений в США широко используется Национальная федеральная программа страхования от наводнений (National Flood Insurance Program, NFIP). Федеральное правительство США пробовало вводить программу страхования от наводнений уже в 1952 г., но только в 1968 г. программа появилась в ее существующей форме. Цель NFIP — обеспечить страхование жилых и промышленных объектов в районах, подверженных наводнениям, а также препятствовать строительству новых объектов в зонах с высоким риском затоплений. К настоящему времени почти 18 тыс. местных общин в США участвуют в регулируемой программе NFIP.

В Испании в соответствии с требованием правительства каждая провинция должна иметь свой специальный план действий — “Emergency Plan against Flood Risk” (“Чрезвычайный план по борьбе с риском наводнений”). Для каждой провинции разработана карта риска наводнений с учетом их повторяемости и высоты поднятия уровня воды в реках. Так, для территории провинции Валенсия выделены четыре градации подверженности наводнениям: отсутствие опасности наводнений, низкая

степень опасности, средняя степень опасности и высокая степень опасности. Оказалось, что в районах, потенциально подверженных опасности наводнений, в этой провинции проживают 353 500 человек (10% населения), а площадь этой территории — около 1200 км² (5% общей площади территории провинции). В соответствии с этим планом паводковая ситуация разделена на три фазы: pre-emergency (предкритическая), emergency (критическая), normalization (фаза нормализации). Определены организационные структуры, ответственные за выполнение плана. Планом определена деятельность разных организационных структур в условиях каждой из трех фаз паводковой ситуации.

В Австралии разработка систем предупреждения наводнений проводится на протяжении последних двадцати лет. В настоящее время здесь функционирует общегосударственная система предупреждения о наводнениях в рамках Бюро метеорологии, которое, как государственное правительственное агентство, ответственно и за прогнозирование наводнений. Бюро метеорологии имеет свои региональные центры в столице каждого штата. В настоящее время в Австралии ведутся интенсивные работы по совершенствованию системы предупреждения о наводнениях, оценке эффективности ее работы и путей дальнейшего развития и совершенствования. Так, в Исследовательском центре по опасности наводнений (Flood Hazard Research Centre) проводятся исследования по следующим направлениям:

— исследование эффективности использования прогнозов наводнений и систем предупреждений об их возникновении;

— оценка эффективности прогнозирования паводков и распространения предупреждений о наводнениях с точки зрения пользователей этой информации;

— исследование возможных путей развития систем предупреждения о наводнениях с учетом достижения наибольшей выгоды от их функционирования;

— установление стандартов (или уровня) обслуживания пользователей.

В Российской Федерации с середины 1990-х годов приоритетным направлением в области практической гидрологии стало обеспечение безопасности населения и хозяйственных объектов при неблагоприятном развитии гидрологических процессов, уменьшение возможного ущерба от опасных гидрологических явлений. В 1991 г. была принята Государственная научно-техническая программа “Безопасность населения и народно-хозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф” (Программа “Безопасность”) (Природные опасности России, 2002). Эта программа предусматривала три основных этапа.

На 1991—1995 гг. планировалась разработка научно-технической политики страны в области управления, регулирования и обеспечения безопасности на основе известных теорий и закономерностей формирования и развития природных и техногенных катастроф, правовых, экономических и нормативно-технических документов, законодательных актов, государственных норм и стандартов.

На 1996—2000 гг. планировалась разработка системы обеспечения безопасности (с учетом общей концепции устойчивого развития и результатов работ первого этапа), а именно:

— проведение фундаментальных и прикладных исследований с использованием методов и средств, призванных обеспечить безопасность в природной и техногенной сферах;

— организация прикладных междисциплинарных, межотраслевых, межрегиональных научно-технических разработок по общим проблемам безопасности и защиты от аварий и катастроф природного и техногенного характера;

— организация и проведение научно-технических разработок в области повышения безопасности населенных пунктов, территорий, промышленных объектов и производственных

технологических систем, обладающих потенциальной угрозой и большой степенью риска.

На 2001—2010 гг. планировались разработка и осуществление перехода России к использованию единой государственной и международной системы законов, норм, правил и стандартов в области обеспечения и повышения безопасности для уменьшения риска природных и техногенных катастроф глобального, национального, регионального, местного масштабов.

Программа “Безопасность” предполагала принципиально новый подход к обеспечению реальной безопасности каждого человека, собственности, технических систем и природной среды. Эта система должна функционировать на национальном, региональном и международном уровнях и предполагает разработку фундаментальных основ теории природных и техногенных катастроф; создание теории защиты и безопасности; переход к проектированию, созданию и функционированию потенциально опасных производств и объектов на базе новых критериев, норм, методов и средств обеспечения безопасности; разработку методов и средств оповещения, защиты и спасения людей, а также ведения восстановительных работ в зонах, подверженных катастрофам; создание единой национальной, региональной и международной нормативно-законодательной базы по техническому, правовому и экономическому регулированию вопросов безопасности.

На первом этапе, который завершился в 1995 г., проводились работы по 100 проектам, объединенным в восемь направлений. В разработке проектов, касающихся уменьшения ущерба от природных и техногенных катастроф, принимали участие и научно-исследовательские учреждения Росгидромета, в том числе Гидрометцентр России. В результате выполнения этих проектов были разработаны 12 карт природной опасности в масштабе 1:5 000 000, в том числе и карта опасности наводнений на территории России.

С 2006 г. система предупреждения о наводнениях в России замыкается на Национальном центре управления в кризисных ситуациях, который функционирует в МЧС России.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РЕЧНЫХ НАВОДНЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ СНЕГОТАЯНИЕМ ИЛИ ДОЖДЕВЫМИ ОСАДКАМИ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Обычно выделяют два этапа формирования речных наводнений. Первый, называемый гидрометеорологическим, определяется процессами поступления воды на водосбор (в ходе снеготаяния или выпадения жидких осадков) и потерями стока, происходящими по разным причинам. Второй аспект называется гидравлическим или гидромеханическим. Он отражает механизм добегания (движения) воды до замыкающего створа.

Гидрологическими факторами весеннего половодья являются: запас воды в снежном покрове к моменту начала таяния и характер его распределения по поверхности водосбора; дождевые осадки (жидкие), выпадающие в период половодья; условия погоды, влияющие на интенсивность снеготаяния; влажность и глубина промерзания почвогрунтов, определяющие потери стока при впитывании талых и дождевых вод.

Стеkanie образующейся в процессе снеготаяния воды определяется рельефом водосбора, наличием лесов, озер и болот, определяющих как потери стока, так и характер (условия) стекания на водосборе. Особенностью формирования стока весеннего половодья является сравнительно кратковременное и одновременное таяние снега на больших территориях (1—2 млн. км² на равнинах). В результате даже при небольшой интенсивности процесса водоотдачи из снега на средних и больших водосборах формируются наибольшие в году паводки.

Иная ситуация наблюдается на малых водосборах, значительную часть которых может охватить ливневый дождь. При таких дождях интенсивность поступления воды в русловую сеть может многократно превосходить интенсивность водоотдачи из снежного покрова и образовывать значительный паводок. В областях муссонного климата дожди могут орошать одновременно большие водосборы, приводя к значительным дождевым паводкам и на больших реках.

Стеkanie воды по склонам сопровождается затоплением бессточных углублений и временным скоплением в проточных емкостях. Большая часть талой воды поглощается почвой и не участвует далее в формировании половодья. Наличие лесов и болот вызывает уменьшение максимального расхода половодья и увеличение его продолжительности.

Условия формирования половодья могут существенно изменяться от года к году. Так, большое осеннее увлажнение почвы и наличие ледяной корки весной приведут к увеличению весеннего стока и большим максимальным расходам.

Для дождевых паводков важными являются интенсивность, пространственное распределение осадков и их соотношение с потерями на впитывание и поверхностное задержание, а также расчлененность рельефа. В зависимости от соотношения инфильтрационной способности почв, интенсивности и продолжительности выпадения осадков выделяется несколько типов дождевых паводков (Бефани, 1977).

Образовавшаяся на склонах вода поступает в русловую сеть, и половодье (паводок) далее формируется под действием гидравлических факторов. Основой в схеме добегания является представление об изохронах, линиях равного времени добегания воды до замыкающего створа. Изохроны разделяют водосбор на частные площади. Зависимость этой площади от времени добегания называется кривой добегания стока. Она является основой так называемых генетических методов расчета паводкового стока. Согласно этой теории, сток заданного

интервала времени рассчитывается как сумма произведений площади между изохронами на слой притока в русловую сеть с этих межизохронных площадей за время добега (Бэфани, 1949а, 1977).

Данная схема не учитывает эффекта распластывания паводочной волны в результате руслового и русло-пойменного регулирования. Поэтому ее непосредственное использование правомерно лишь на малых водосборах. Для больших рек уровень затопления оценивается с помощью разнообразных эмпирических формул, связывающих величину максимального стока с факторами его формирования.

Учет опасности наводнений в практике проектирования и оперативного управления осуществляется путем оценки нагрузок, вызываемых этими явлениями. В большинстве случаев прямая оценка воздействия паводковых вод на сооружение весьма сложна.

В большинстве случаев в качестве показателя опасности используется в основном уровень воды заданной вероятности превышения*. Вероятность превышения расчетного паводка назначается строительными нормами в зависимости от класса капитальности (или уровня ответственности) сооружения (Гидротехнические сооружения, 1987). Такая схема задания нагрузок при решении задач надежности в проектировании называется “полувероятностным” подходом.

В оперативном управлении опасность гидрологического явления оценивается с помощью разнообразных методов прогнозирования. Основной характеристикой гидрологического прогноза является его заблаговременность, т. е. время от момента выдачи прогноза до момента, когда опасное гидрологическое событие происходит. Заблаговременность прогноза является важнейшим параметром, определя-

* Для каждого заданного значения вероятности, используя ряды данных наблюдений, можно оценить такой уровень воды, который будет превышать именно с заданной вероятностью.

ющим возможность реализации защитных и эвакуационных мероприятий. В нашей стране выделяют краткосрочные прогнозы, заблаговременность которых колеблется от нескольких часов до 5 сут, среднесрочные — с заблаговременностью от 6 до 10 сут, долгосрочные — с заблаговременностью более 10 сут.

Методическая база прогнозирования наводнений в период весеннего половодья во многом определяется пространственным масштабом (а именно, степенью локальности) гидрологических процессов и их чрезвычайно большой пространственной изменчивостью. Это приводит к тому, что практически все методы прогнозирования — эмпирические. Даже в тех случаях, когда используются теоретические зависимости, для конкретных водных объектов приходится определять их коэффициенты эмпирически, по данным локальных наблюдений (часто — по очень ограниченному массиву данных). Это приводит к многообразию используемых в практике способов прогноза водного режима.

Наряду с традиционными, графоаналитическими подходами в практику прогнозирования вошли расчетные методы, с разной степенью детализации описывающие процесс формирования стока. По физическим предпосылкам все способы прогнозирования можно подразделить на несколько групп.

В первую группу можно включить методы, основанные на закономерностях движения воды в русловой сети. Чаще всего эти методы прогнозирования пригодны для средних и сравнительно крупных участков рек. Физической основой этих методов являются: теория перемещения паводковой волны, уравнение водного баланса для участка реки или речной системы в целом, закономерности истощения запасов воды в русловой сети.

Из этой группы наибольшее распространение получили методы прогнозирования, не учитывающие в явном виде изменение формы волны паводка при ее движении по руслам рек. Они просты, не требуют большого

объема вычислений при выпуске прогноза и, как правило, обеспечивают достаточную точность оценок. Сюда можно отнести прогнозы по соответствующим уровням (Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989а). Суть метода сводится к установлению эмпирических связей между соответствующими уровнями (расходами) воды, наблюдавшимися в верхнем и нижнем створах. Заблаговременность прогноза равна разности сроков наступления таких уровней (расходов) в указанных створах. Для составления прогноза используются только данные гидрометрических наблюдений. Однако использование методов соответствующих уровней возможно только для сравнительно коротких участков рек, где изменение формы паводковой волны невелико.

При резких изменениях уровней (расходов) воды и значительном изменении формы волны при ее движении в районе паводка следует использовать другие методы прогнозирования, основанные на приближенных уравнениях трансформации. Большая часть таких методов базируется на решении уравнения неразрывности для участка реки при допущении об однозначной связи между объемами воды в пределах расчетного участка и расходами воды в нижнем (замыкающем) створе данного участка реки. Методы этой группы отличаются друг от друга лишь выбором формы такой связи. При построении краткосрочных прогнозов водного режима нашли достаточно широкое применение линейные модели (Корень, 1991). Эти модели основаны на использовании так называемых “кривых добегания” (функций влияния) для каждого расчетного участка. Кривая добегания описывает трансформацию расходов воды в процессе движения водных масс от входного створа до замыкающего. Нередко применяется несколько функций влияния, каждая из которых соответствует сосредоточенному притоку, контролируемому вышерасположенным створом. Обычно кривая добегания аппроксимируется двухпараметрическим гамма-распределением. Параметры кривых

добегания оценивают по приближенным формулам, а затем уточняют с помощью методов оптимизации (Корень, 1984, 1991).

К следующей группе можно отнести методы, используемые для составления краткосрочных прогнозов для небольших водосборов, когда входные створы отсутствуют либо их число недостаточно. В этих случаях применяются методы прогнозирования, разработанные на основе данных о жидких и твердых осадках, причем учитываются закономерности формирования стока не только в русловой сети, но и на водосборе. Расходы воды рассчитываются с помощью математических моделей формирования стока (Кучмент, 1972; Мухин, 1992, 1996; Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989а). Эти модели основаны на решении уравнения водного баланса для коротких интервалов времени, причем для расчета составляющих баланса используются приближенные решения (как правило, они хорошо соответствуют экспериментальным данным). Успешность методов прогнозирования этой группы во многом зависит от надежности данных о приходной части баланса (осадки, запасы воды в снеге).

Практически все модели, построенные для целей прогнозирования стока, являются концептуальными моделями с сосредоточенными параметрами. Они имеют ряд общих особенностей, характеризующих их: параметрическое описание основных процессов формирования стока; наличие практически не измеряемых параметров, интегрально характеризующих особенности конкретного водосбора; использование зональных и локальных зависимостей при оценке параметров; использование методов оптимизации для калибровки моделей, т. е. методов, позволяющих найти приближенные оценки параметров модели, которые обеспечивают наилучшее соответствие фактических и рассчитанных гидрографов стока (Корень, 1991).

Во всех практических схемах прогнозирования данные измерений рассматриваются как

осредненные каким-либо способом по водосбору. Это обстоятельство накладывает ограничения на размер водосбора, для которого могут быть использованы эти модели. Опыт показывает, что оптимальным размером водосбора для применения таких подходов является площадь 5—10 тыс. км².

Для построения прогнозов расхода воды на небольших водосборах в Гидрометцентре России используется модель формирования талого, дождевого и тало-дождевого стока (Мухин, 1992, 1996; Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989а). Отличительные особенности модели:

- отдельный расчет процессов образования стока для полевых и лесных участков водосбора;

- параметризация основных теплофизических процессов в зоне аэрации, в частности процессов промерзания и оттаивания почвы, образования практически полностью непроницаемых слоев;

- учет распределения снежного покрова и глубины промерзания на водосборе;

- расчет интенсивности инфильтрации с учетом фазового состояния влаги в почве.

Модель позволяет выполнять расчет следующих процессов: снеготаяния, промерзания и оттаивания почвы, потери воды на инфильтрацию и испарение, поверхностного и почвенного притока, задержания воды на поверхности водосбора, оттока влаги в нижележащий слой, трансформации поверхностного и почвенного притока.

Для увеличения заблаговременности краткосрочных прогнозов используются прогнозы метеорологических величин: температуры воздуха, температуры точки росы, скорости ветра, облачности и осадков. Основное влияние на погрешность прогноза в период весеннего половодья оказывает неточность задания температуры воздуха. Ошибки прогноза осадков оказывают меньшее влияние.

При прогнозировании экстремальных гидрологических ситуаций наибольший интерес представляет прогноз уровней воды. Рассмотр-

енные методы ориентированы в основном на прогноз расходов воды. Поэтому для перехода к уровням воды используются так называемые кривые расходов, отражающие связь между уровнями и расходами воды. Известно, что эти кривые являются неустойчивыми и меняются не только от года к году или от сезона к сезону, но и в течение года или сезона. Поэтому требуется постоянная корректировка кривых расходов с помощью проведения измерений расходов воды. В случае отсутствия измерений расходов воды в ряде схем рекомендуется использовать так называемые условные кривые расходов (Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989а).

Существуют методологические отличия в процедурах краткосрочного прогнозирования дождевых паводков, используемых в оперативной практике для больших (более 10—15 тыс. км²) хорошо изученных рек и небольших водосборов (от 1 до 10 тыс. км²), где измерение расходов воды проводится часто лишь в замыкающем створе. Для больших водосборов применяются традиционные методы, основанные на использовании измеренных расходов воды в вышележащих створах. При составлении прогнозов в этих случаях используются те же подходы, что и при прогнозах весеннего стока (метод соответственных уровней (расходов) воды, методы, основанные на учете русловых запасов, кривые добегаания).

Наибольший интерес представляют прогнозы дождевых паводков для небольших (менее 5—10 тыс. км²) водосборов. В этих случаях прогнозирование осуществляется по данным об осадках. На практике часто применяется довольно простой метод прогноза объема и высоты дождевого паводка (Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989а), опирающийся на графики связи между стоком и факторами, его обуславливающими, т. е. количеством осадков, влажностью почвы перед паводком и др. Зависимости определяются для каждого конкретного водосбора. После этого устанавливают графическую связь максималь-

но возможных потерь дождевого стока при данном увлажнении бассейна с факторами, определяющими эти потери. Такими факторами могут быть влажность почвы перед паводком, продолжительность выпадения осадков, сезон года и др.

Для некоторых водосборов используются сравнительно простые аналитические зависимости — формулы, непосредственно связывающие сток рек с количеством осадков и характеристикой влажности почвы перед паводком.

Другой возможный подход состоит в построении графических зависимостей, связывающих слой стока с индексом предшествующих осадков, сезоном года, количеством и продолжительностью осадков. Такие зависимости позволяют прогнозировать гарантированную величину объема стока за паводок, соответствующую осадкам на момент составления прогноза.

Для прогноза распределения стока в период паводка или максимального расхода (уровня) воды используют широко освещенные в отечественной и зарубежной литературе метод кривых добегаания либо метод единичного паводка (Аполлов и др., 1974; Бефани, 1977).

Наряду с традиционными графоаналитическими способами прогнозирования дождевых паводков на небольших водосборах накоплен определенный опыт использования математических моделей. Например, в Гидрометцентре России используется модель формирования талого, дождевого и тало-дождевого стока (Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989а). В качестве входных данных в модели принимаются осредненные по площади водосбора осадки и дефицит влажности воздуха. Модель применялась для разработки методов краткосрочных прогнозов дождевых паводков в разных паводкоопасных районах нашей страны. Она также испытывалась на водосборах рек Австралии и Америки в процессе сравнения концептуальных моделей дождевого стока по проекту ВМО. Заблаговременность прогноза дождевых паводков по этой модели, конечно, не очень значительная, если бассейн

небольшой — не более 5 тыс. км², — и определяется заблаговременностью метеорологического прогноза. Отечественный и зарубежный опыт показывает, что даже качественные оценки ожидаемого хода осадков позволяют увеличить заблаговременность предупреждения об опасных дождевых паводках.

В особую группу можно отнести краткосрочные прогнозы паводков и половодья для речных систем на основе математических моделей. Эти методы прогнозирования, основанные на математических моделях, связаны с анализом и обработкой большого объема гидрометеорологической информации как при разработке метода, так и при выпуске прогнозов. Поэтому наиболее целесообразно такие методы использовать для речных систем, для которых необходимы прогнозы водного режима по большому числу створов, расположенных на основной реке и притоках. Важно также, чтобы прогностическая система была ориентирована на автоматизированную обработку входной информации.

Такие подходы реализованы в Гидрометцентре России. При разработке методов прогнозирования для крупных рек водосбор представляется в виде цепочки последовательно и (или) параллельно соединенных частных бассейнов, ограниченных створами, на которых ведутся наблюдения за расходами и уровнями воды. Для этих частных бассейнов используются модели разной сложности. Для бассейнов или их частей, ограниченных входными и выходными гидрометрическими створами, используется широко распространенная линейная модель трансформации с сосредоточенным промежуточным притоком. Для концевых бассейнов (для малых и средних водосборов на притоках) используется концептуальная модель формирования талого и дождевого стока, позволяющая вести расчеты по данным о жидких и твердых осадках. В этом случае прогноз стока производится последовательно сверху вниз по течению реки.

Основные проблемы, возникающие при реализации данной схемы в оперативной практике, связаны с определением параметров модели по данным наблюдений стандартной гидрометеорологической сети станций, с эффективным учетом текущей информации о прогнозируемой величине, с заданием входных данных на период заблаговременности прогноза, а также с организацией оперативных баз данных.

Перечисленные проблемы в течение ряда последних лет в большей или меньшей степени были решены, что позволило построить унифицированную прогностическую систему краткосрочных прогнозов расходов и уровней воды и получить практические схемы прогнозов для ряда крупных рек. В частности, была разработана схема краткосрочного прогноза расходов и уровней воды для речной системы Верхней Оки. Эта схема в течение последних трех лет в опытном порядке используется в оперативной практике Гидрометцентра России.

Метод реализован в виде программного комплекса, позволяющего выпускать прогнозы в автоматизированном режиме: исходная информация по каналам связи поступает в ЭВМ, декодируется, анализируется и заносится в базу данных, на основе которой осуществляются расчеты, необходимые для составления прогноза. Программный комплекс может использоваться для речных систем любой конфигурации.

Детальное описание особенностей численного метода краткосрочных прогнозов расходов и уровней воды для речных систем можно найти в опубликованных работах (Корень, 1984; Корень, Чернова, 1982; Кучмент, 1972; Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989а).

В заключение этого раздела приведены некоторые соображения о долгосрочных прогнозах стока за период половодья. Для предупреждения аварийных ситуаций на водохранилищах в период весеннего половодья необходимо осуществлять ежегодное освобождение некоторого объема водохранилища.

Определить его необходимый свободный объем можно только на основе долгосрочного прогноза объема притока воды в водохранилище за период весеннего половодья. В основе методов долгосрочного прогнозирования стока в период половодья лежат эмпирические зависимости величины этого стока от запаса воды в снежном покрове и суммы осадков за время таяния снега (фактически — от суммы этих величин), а также от показателей предвесенней водопоглотительной способности бассейна. Обычно такие зависимости устанавливаются для каждой реки либо для целого района на основе данных по ряду бассейнов, если район достаточно однороден по физико-географическим условиям формирования стока (такая зависимость получила название “территориально общей”).

Практические методы долгосрочного прогнозирования основаны на линейных (реже — нелинейных) физико-статистических зависимостях стока от основных факторов. Эти зависимости — следствия из условий выполнения водно-балансовых соотношений за соответствующие интервалы времени. Наиболее распространенной нелинейной зависимостью является зависимость, полученная в предположении экспоненциального распределения водопоглотительных емкостей в бассейне (Нежиховский, 1971). Параметры такой зависимости оцениваются для конкретных водосборов.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАВОДНЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ЛЕДОВЫМИ ЗАТОРАМИ И ЗАЖОРАМИ

Ледовым затором называется скопление крупно- и мелкобитого льда в руслах рек, стесняющее (уменьшающее) так называемое живое сечение реки и приводящее к повышению уровня воды на вышерасположенном участке и затоплению прилегающих территорий. Затопления образуются в период весеннего половодья при вскрытии рек.

Весенние заторы льда возникают на реках, вскрывающихся вниз по течению под влиянием формирующейся в верхней части бассейна реки волны половодья. Особенно это свойственно рекам севера европейской части России и Сибири, текущим с юга на север. Процесс их вскрытия представляет собой цепь последовательного образования и разрушения более или менее мощных заторов льда (Бузин, 1980; Бузин и др., 1989). Так происходит на больших реках, текущих с юга на север, на реках, верховья которых являются горными, а низовья — равнинными, и на реках, где ниже большого участка со значительной скоростью течения имеется участок с небольшой скоростью.

Опасное воздействие затора льда заключается как в затоплении территорий, так и в создании ледовых нагузов на здания и сооружения.

Основной причиной возникновения ледовых заторов является задержка вскрытия на тех реках, где кромка льда смещается вниз по течению. Приносимые сверху льдины частично подныривают под лед, а частично — образуют торосы. Этот процесс сопровождается подвижками льда, приводящими к его дроблению, уплотнению и образованию затора. В результате стеснения русла повышается уровень воды выше по течению, уменьшается скорость потока воды и движения приносимых им льдин. Энергии льдин становится недостаточно для торошения, и увеличение затора замедляется.

Вскрытие затора может происходить как вследствие резкого увеличения расхода воды, так и вследствие уменьшения прочностных свойств льда при воздействии солнечной радиации и теплых речных вод. Чаще всего эти два фактора действуют совместно.

Перечисленные условия характерны для зон выклинивания подпора водохранилищ, устьевых участков рек, мест перелома продольного профиля и др.

Предотвращение заторообразования и борьба с его последствиями являются сложными задачами. Используется предварительное ослабление ледового покрова путем произ-

водства взрывных работ, зачернения поверхности льда, артиллерийских обстрелов и бомбометания. Ликвидация небольших заторов возможна с помощью ледоколов.

Наиболее известными в последние годы стали заторные наводнения на р. Лена. Катастрофических масштабов наводнение на р. Лена достигло в 1998 г. Резкое повышение температуры воздуха привело к интенсивному вскрытию Лены, Алдана, Олекмы, Амги и образованию ледовых заторов, сопровождавшихся повсеместным затоплением прибрежных населенных пунктов. На многих пунктах наблюдений были на 1—1,5 м превышены уровни, считавшиеся рекордными. Был затоплен и г. Ленск, при этом уровень воды был на 3 м выше критического (соответствующего началу затопления территории города).

Особый резонанс получило наводнение на р. Лена, вызванное формированием мощного затора льда, в результате которого в мае 2001 г. был полностью разрушен г. Ленск. К факторам, приведшим к столь высокому подъему воды, следует отнести чрезвычайно высокий уровень воды перед ледоставом и повышенную толщину льда к концу зимы. Резкое вскрытие и ночные понижения температуры воздуха способствовали сохранению большой прочности льда. Первые подвижки льда начались также при экстремально высоком уровне, что привело к немедленному затоплению значительной части города уже в начале заторообразования. Начатые при этом ледовзрывные работы ожидаемого эффекта не дали, а напротив, способствовали, по мнению некоторых специалистов, сосредоточению льда из трех заторов в одном, обусловив катастрофический подъем уровня воды.

Из сказанного следует, что высота уровня воды при заторе и соответственно масштаб затопления зависят не только и не столько от параметров половодья, сколько от сложившейся к концу зимы ледовой обстановки и характера вскрытия реки. Это означает, что одно только уменьшение половодных расходов на р. Лена и ее притоках путем создания водохранилищ не

сможет обеспечить безопасность прибрежных населенных пунктов с достаточной надежностью (Асарин, 2001, 2003).

На данном участке реки высота максимального уровня воды, обусловленного заторным наводнением, зависит от многих факторов. Их можно подразделить на связанные с процессом образования ледяного покрова (отметка максимального уровня воды в начале ледостава, толщина ледяного покрова и снега на нем) и связанные с условиями его разрушения (расход воды при вскрытии, интенсивность подъема уровня, прочность ледяного покрова к моменту начала вскрытия). Наиболее мощные заторы и катастрофические наводнения возникают, если во время образования ледяного покрова уровень воды высок. Он может быть обусловлен следующими факторами:

- водностью реки осенью;
- степенью стеснения русла шугой, особенно если замерзание реки сопровождалось подвижками ледяного покрова.

Важными факторами формирования заторов являются также:

- интенсивный подъем уровня (расхода) воды в период половодья на вышележащем участке реки;
- резкое похолодание при подходе границы ледохода к рассматриваемому участку, что способствует сохранению большой прочности льда в образующемся заторе и на нижележащем участке (Лисер, 1967; Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989б).

Совпадения даже части из этих условий достаточно для возникновения опасного затора.

Учет факторов первой группы позволяет для некоторых участков рек (например, Амура, Ангары, Сухоны) прогнозировать значения максимального заторного уровня с заблаговременностью от одного до четырех месяцев (Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989б). Дополнение характеристик формирования ледяного покрова показателями особенностей начала развития весенних процессов в бассейне Лены дает возможность (с помощью методов диск-

риминантного анализа критериальных уравнений) прогнозировать вероятность возникновения опасных заторных уровней при вскрытии каждого из четырех основных участков р. Лена со средней заблаговременностью 20—40 сут. При этом по соотношению толщины льда на участке и у важнейшего на этом участке города определяется, будет ли затор угрожать этому городу или образуется в другом месте. Обеспеченность правильного предсказания опасных повышений уровня — 80%.

Однако влияние на высоту максимального заторного уровня факторов, возникающих уже в ходе вскрытия реки, так велико, что для многих рек, опасных с точки зрения заторов, возможность разработки методов долгосрочного прогноза весьма проблематична. Да и там, где такие прогнозы составляются, они часто нуждаются в уточнении. Для этого разработан ряд методов краткосрочного прогнозирования для участков рек, где заторы при вскрытии образуются ежегодно (Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989б). Прогнозы, составляемые с использованием этих методов, базируются на физико-статистических зависимостях, учитывающих в разных сочетаниях перечисленные выше основные факторы. Для оценки расхода воды в момент вскрытия используются разные приемы в зависимости от особенностей формирования половодья на данном участке реки и от наличия измерений расхода воды на вышележащих водомерных постах. Часто расходы заменяют уровнями или их приращениями. В ряде случаев для расчета характеристики прочности льда и оценки вероятности похолодания учитывается прогноз погоды на 3—5 сут.

Максимальные заторные уровни воды на многих реках (Северная Двина, Енисей, Лена, Амур и др.) превышают наивысшие уровни воды весеннего половодья и летних паводков. К тому же заторы вызывают очень быстрое повышение уровня воды, из-за чего наводнение часто воспринимается как внезапное даже при наличии предупреждения. Опасность усугуб-

ляется выходом воды и выносом льда на берега, а при прорыве затора — мощным и стремительным ледоходом по пойме, разрушающим все на протяжении десятков километров.

Большой интерес представляет разработанная в 2010 г. Д. А. Бураковым методика долгосрочного прогноза максимальных уровней воды р. Абакан, применение которой возможно при любом характере развития весенних ледовых процессов (включая случаи формирования заторов льда).

Зимние наводнения могут быть также вызваны зажорами — закупоркой живого сечения реки в период формирования ледостава. Это явление широко распространено на реках России. Зажорные наводнения особенно опасны тем, что происходят в холодное время года и сохраняются иногда подолгу, поэтому разлившаяся вода замерзает, образуя в затопленных частях населенных пунктов трудно удаляемый ледяной панцирь. Нередко с образованием зажоров связано и резкое понижение уровня воды ниже головы зажора, вызывающее оголение водозаборов и прекращение водоснабжения. Наиболее значительные зажорные затопления происходят в среднем течении Ангары и на Енисее ниже устья Ангары.

Для ряда рек, где опасные зажорные подъемы воды наблюдаются часто (Нева, Западная Двина, Амур), разработаны физико-статистические зависимости. Примером может служить зависимость для прогноза максимальных уровней воды р. Нева у Санкт-Петербурга в период зажора (Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989б):

$$H_{\text{зж}} = 1,29H_{\text{ХЛл}} + 0,53L + H_{\Gamma} - 404.$$

В этой формуле $H_{\text{зж}}$ — уровень воды (см) в р. Нева у завода “Большевик”; $H_{\text{ХЛл}}$ — средний уровень воды Ладожского озера в ноябре (см); L — расстояние кромки льда от Горного института (км); H_{Γ} — уровень воды у Горного института (см). Уровни воды здесь и ниже отсчитываются от нуля графика конкретного поста.

В работе (Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989б) рассматривается обобщенный метод построения краткосрочного прогноза максимального уровня воды, обусловленного зажором, на любом опасном в отношении зажоров участке реки. Он пригоден и в случае отсутствия длительного ряда гидрологических наблюдений. Исходными данными для прогноза служат сведения об уклоне на данном участке реки, расходе воды в день появления льда (Q_0), температуре воздуха в период замерзания (принимается по прогнозу погоды на период заблаговременности прогноза) и кривой $Q = f(H)$ при свободном ото льда русле (H — уровень воды, Q — расход воды).

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАВОДНЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ЦУНАМИ И БАРИЧЕСКИМИ ВОЛНАМИ (СГОННО- НАГОННЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ)

Наиболее распространенной причиной возникновения волн цунами являются землетрясения. Кроме вертикальных деформаций дна, причиной цунами могут быть подводные оползни и обвалы, а также случаи обрушения в воду больших масс горной породы.

В результате движения участков дна возникают колебания водных масс океана в виде волн, распространяющихся в форме концентрических кругов. В эпицентральной зоне высота волн невелика. В открытых районах океанов наибольшая высота волны не превышает 2 м. Существует зависимость между интенсивностью землетрясения M (баллы), глубиной очага землетрясения H_3 (км) и параметрами волны цунами. По данным японских сейсмологов (Понявин, 1965), цунами могут возникать при $M \geq 6,42 + 0,17 H_3$. При соотношении $M > 7,75 + 0,008 H_3$ могут возникать катастрофические цунами.

В развитии волн цунами выделяют три основных стадии: формирование волны, сво-

бодное распространение без существенной деформации, выход в район мелководий с последующими деформациями и разрушением.

Длина волны цунами составляет от десятков до сотен километров. Длина волны в момент зарождения приблизительно равна линейному размеру зоны возмущения (например, подводного землетрясения). Она увеличивается с удалением от района образования.

Скорость волны цунами C в открытом океане с глубиной H определяется известной формулой Лагранжа $C = \sqrt{gH}$.

Глубина водоема в среднем уменьшается при подходе к берегу, вследствие чего при распространении волны увеличивается значение трения о дно. При этом длина волны и скорость ее распространения начинают уменьшаться, а высота увеличивается, что приводит к преобразованию волны в высокий вал. Такое преобразование волн начинается с глубины 200 м (начало шельфовой зоны) и особенно активно развивается на глубине 30—40 м.

Увеличение высоты волн цунами начинается на границе материковой отмели и в значительной мере определяется рельефом подводного склона. Если возле берега наблюдается резкий свал глубин, то волна цунами сильно не деформируется. Наибольшее увеличение высоты волн наблюдается возле островов с широкой отмелью, где дополнительно может наблюдаться эффект так называемого резонанса, когда диаметр острова примерно равен длине волны. Значительное увеличение высоты волн цунами происходит в бухтах и проливах.

Важным для инженерной защиты является характер воздействия волн цунами на береговые сооружения. Воздействие цунами делится на гидродинамическое и гидростатическое.

При трансформации волны на побережье она разрушается, скорость перемещения и разрушительная сила увеличиваются. По свидетельству очевидцев Северо-Курильского цунами 1952 г., волна, достигавшая 15-метровой высоты, разрушила волнорез, состоявший из

бетонных блоков размером $7 \times 7 \times 7$ м, и сбросила их в радиусе от 20 до 50 м.

Причиной разрушения сооружений при цунами может быть и воздействие сбрасываемых вод, поскольку в процессе затопления возникают дополнительные взвешивающие гидростатические усилия и размывы.

Одним из наиболее тяжелых катастрофических событий последних лет стало цунами, возникшее в декабре 2004 г. в Индийском океане. Оно унесло около 240 тыс. человеческих жизней. Огромное количество жертв — следствие отсутствия в регионе системы предупреждения о таких опасных явлениях.

Другой механизм возникновения длинопериодных волн обусловлен метеорологическими причинами. При перемещениях циклонов и тайфунов, кроме сгонов и нагонов, обусловленных перемещением воды под действием ветра и не имеющих волнового характера, возникают длинные волны, связанные с неравномерным изменением атмосферного давления (Пелиновский, 1996; Пясковский, Померанец, 1982).

В центре циклона создается подъем уровня моря вследствие пониженного давления, усиливающийся механическим действием ветра. При смещении циклона “бугор” начинает растекаться, генерируя в толще воды свободные колебания, соизмеримые по длине с размерами атмосферного образования. Наиболее часто такие барические колебания имеют характер волны сложной формы с длиной, равной удвоенному диаметру вызвавшего его циклона.

Примером таких наводнений на территории России являются ленинградские (санкт-петербургские) наводнения. Длиннопериодная волна формируется в центральной части Балтийского моря в результате длительного стояния циклона. После ухода циклона волна распространяется в Финском заливе с заходом в устье р. Нева. Простейшая формула для расчета высоты подъема уровня воды в Санкт-Петербурге ($H_{\text{СПб}}$) имеет следующий вид (Пясковский, Померанец, 1982):

$$H_{\text{СПБ}} = 2,5 H_T + \Delta H,$$

где H_T — высота волны в Таллинне, а ΔH — дополнительный подъем вследствие воздействия ветра. Заблаговременность такого рода прогнозов составляет не более 6—8 ч, что затрудняет проведение профилактических работ в зоне затопления.

Учет опасности затопления территорий осуществляется уже на стадии разработки генерального плана города. Для зон промышленно-гражданской застройки, как правило, выделяется зона затопления паводком (при нагонах, заторных явлениях и т. д.), имеющим повторяемость раз в 100 лет. Карта-схема позволяет судить о масштабе распространения этого опасного явления. Добавим, что подобное зонирование территории является необходимым элементом генерального плана любого города, расположенного в зоне опасного воздействия вод.

Мерами борьбы с наводнениями типов, рассмотренных в этом разделе, могут быть строительство защитных дамб, повышение высотных отметок затопляемых территорий (намыв), регулирование половодного и паводкового стока водохранилищами и использование так называемых не прямых методов, связанных с изменением условий формирования стока на водосборе.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАВОДНЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ СЕЛЕВЫМИ ПАВОДКАМИ

Селевые паводки имеют распространение в горных областях и отличаются от обычных ливневых паводков значительным содержанием наносов разного фракционного состава — от песка до крупных камней и глыб. Условиями возникновения селей являются накопление на водосборе продуктов разрушения горных пород в большом количестве, большие уклоны склонов и потоков, в среднем небольшое количество атмосферных осадков в сочетании с благоприятными условиями для возникно-

вения интенсивных ливней или интенсивного снеготаяния.

Особенностью селя является заторный, пульсирующий характер потока вследствие наличия сужений и поворотов русла, наличия в русле осыпей, крупных камней и глыб. В результате селя двигается отдельными волнами с интервалом в несколько минут. Пульсирующий, заторный характер потока, его насыщенность наносами и резкое увеличение максимальных расходов обуславливают большую разрушительную силу селей.

В зависимости от состава селевой массы различают грязевые, грязе-каменные и водно-каменные селевые потоки. Состав селевых паводков определяется строением пород, слагающих горные склоны.

Для расчета характеристик селя используется его объемный вес γ , т/м³. Приближенное представление об объемном весе дает следующая шкала (Флейшман, 1970):

- 1) $\gamma = 1,1—1,3$ для несвязных селей;
- 2) $\gamma = 1,3—1,5$ для связных и несвязных грязевых селей с включением крупнообломочного материала;
- 3) $\gamma = 1,5—1,7$ для связных и несвязных грязе-каменных селей, в значительной мере насыщенных крупнообломочным материалом;
- 4) $\gamma = 1,7—1,9$ для связных селей, возникающих вследствие нарушения равновесия и перехода в текучее состояние морен, конгломератных оползневых толщ и других геологических тел, сформированных продуктами разрушения горных пород.

Скорость движения водно-каменных и грязевых селей составляет 2—4 м/с, иногда доходя до 7—8 м/с. Максимальные расходы селевого паводка могут в 8—10 раз превышать максимальные расходы воды даже при редких дождевых паводках.

Наиболее селеактивным регионом в России является Северный Кавказ, известный селями гляциального происхождения (Кармадонская катастрофа 2002 г.). В этом регионе селевая

опасность угрожает примерно 500 населенным пунктам (Запорожченко, 2004).

Защита территорий от селевой опасности возможна путем создания противоселевых емкостей и реализации мероприятий по уменьшению эрозионной способности склонов (облесение и т. п.). Так, созданная направленным взрывом плотина на р. Малая Алматинка позволила защитить г. Алма-Ата (Казахстан) от разрушительного воздействия селей, а построенное пронизываемое селезащитное сооружение в районе г. Нальчик (Северный Кавказ) при прохождении селя было полностью разрушено.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАВОДНЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ СГОННО-НАГОННЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ НА ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМАХ (КАСПИЙСКОЕ МОРЕ)

Наиболее плотно заселенными районами на Земле являются устьевые области рек. Плодородные почвы, мягкий климат и обилие пресной воды делали эти районы всегда привлекательными для поселения людей и интенсивного хозяйственного освоения. В этих районах пересекались морские и речные торговые пути, что требовало возведения портов. К настоящему времени в устьях рек располагаются половина из более чем 200 столиц мира и 17 из 23 городов с численностью населения более 5 млн. человек.

В то же время устьевые зоны чаще, чем другие районы, подвергаются периодическим затоплениям — наводнениям, вызванным ветровыми нагонами. Ветровой нагон воды представляет собой подъем уровня воды в результате воздействия ветра на водную поверхность. Они наиболее часто случаются в морских устьях крупных рек, а также на берегах больших озер и водохранилищ. Возникают нагоны на наветренном берегу водоема вследствие касательного напряжения на плоскости раздела вода — воздух. Слои воды, вовлекаемые вет-

ром в движение в сторону наветренного берега, испытывают лишь сопротивление нижних слоев воды. В результате образовавшегося уклона водной поверхности под действием силы тяжести нижележащие слои воды движутся в противоположном направлении, испытывая значительное сопротивление вследствие шероховатости поверхности дна. В результате этого из-за различия величины расходов движущихся в разных направлениях слоев воды возникает подъем уровня с наветренного берега водоема, а с противоположной стороны — понижение уровня.

Причиной возникновения сильных ветров в устьевых областях являются глубокие циклоны — гигантские атмосферные вихри с низким давлением в центре и ветром, дующим (в Северном полушарии) против часовой стрелки к центру. В южной части этих барических образований располагается сектор с теплым воздухом. Линия, разделяющая теплый и холодный воздух, называется линией атмосферного фронта. Именно в районе фронта скорость ветра наибольшая. Перемещаясь со скоростью 30—50 км/ч, циклон вызывает на водоемах не только сгонно-нагонные явления, но и длинные волны, размеры которых превышают глубину водоема в сотни раз. Происходят также колебания водной поверхности относительно одного или нескольких центров, т. е. сейши. Таким образом, мощные барические образования — циклоны, выходя в устьевые области рек, вызывают комплекс колебательных явлений, которые объединяют общим названием “нагоны”. Эти нагоны могут проходить вверх по течению реки на большое расстояние. Чем меньше уклон водной поверхности реки, тем на большее расстояние проникают нагонные явления.

Величина нагона рассчитывается в зависимости от так называемой длины разгона ветра над водоемом, средней глубины водоема по длине разгона и скорости ветра. Из-за инерции водных масс максимум нагонного подъема

уровня наступает позже максимума скорости ветра (время запаздывания до 6—8 ч).

Примером крайне опасного наводнения может служить нагон, случившийся на побережье Каспийского моря 11—15 ноября 1952 г. При скорости ветра около 30 м/с на северо-западном побережье моря вода поднялась на 3—4 м. Вода, продвигаясь бурным потоком по ложбинам, затопила прибрежную зону на отдельных участках до 30 км вглубь суши.

Близкие по характеру нагонные наводнения происходят и на побережье Азовского моря. В ночь с 28 на 29 октября 1969 г. в результате штормового ветра нагонный подъем уровня моря составил 3—4 м. Наводнение охватило юго-восточное побережье моря между Темрюком и Приморско-Ахтарском, затопив побережье местами на 8—10 км вглубь. Погиб наблюдатель гидрологического поста. Случаи высоких нагонов отмечались также в 1739, 1840 и 1914 гг.

Колебания уровня внутреннего (бессточного) водоема представляют собой плохо предсказуемое природное явление. Тем не менее оно поддается описанию на основе вероятностных моделей так называемых побуждающих гидрометеорологических процессов (притока к морю и испарения с водной поверхности) и представлений о его водном балансе. Водобалансовый механизм колебания уровня бессточного водоема представляет собой следующее. Вода, поступающая в водоем в виде речного стока и осадков, расходуется в основном на испарение. Когда суммарное поступление воды превышает испарение, уровень водоема повышается, что приводит к увеличению площади зеркала и, соответственно, увеличению объема испарения. При превышении испарения над притоком уровень снижается, а испаряющая поверхность уменьшается. Соответственно уменьшается испарение, что приводит к замедлению темпов снижения уровня воды. Это означает, что в стационарных климатических условиях уровень внутреннего водоема колеблется возле положения, отвечающего равен-

ству среднемноголетних величин (объемов) притока и испарения (так называемого уровня тяготения).

Изменения уровня воды (H) бессточного водоема могут быть описаны с помощью уравнения водного баланса:

$$\frac{dH}{dt} = v(t)/F(t) - e(t),$$

где t — время, $v(t)$ — приток воды с водосбора в единицу времени, $F(t)$ — площадь зеркала водоема, а $e(t)$ — слой видимого испарения (испарение минус осадки в расчете на единицу площади водоема).

Решение уравнения водного баланса дает вероятностный (при вероятностном задании притока и видимого испарения) прогноз уровня внутреннего моря. Для России наиболее характерным примером является Каспийское море, хотя это и не чисто бессточный водоем, поскольку кроме притока воды (сток рек Волги, Урала, Куры, Терека, Сулака и др.) существует отток воды в залив Кара-Богаз-Гол. В бассейне Каспия также наблюдаются безвозвратное водопотребление и регулирование стока водохранилищами, что приводит к усложнению воднобалансового механизма.

В вероятностных расчетах ожидаемых колебаний уровня Каспийского моря объемы безвозвратного водопотребления (орошение, промышленное и коммунальное водопотребление, а также дополнительное испарение с поверхности водохранилищ) задаются в виде сценариев исходя из того или иного прогноза развития хозяйства на конкретную перспективу (обычно не более 30—50 лет). Суммарные изъятия и потери стока, в 1960—1980 гг. превосходившие 40 км^3 , в последние десятилетия оцениваются примерно $25 \text{ км}^3/\text{год}$.

С начала систематических наблюдений за режимом Каспия в течение примерно столетия его уровень незначительно колебался около отметки -26 м БС (Балтийская система высот). В 1930-е годы произошло существенное понижение уровня — на 1,7 м. В дальнейшем процесс продолжился, но гораздо медленнее, и в

1979 г. уровень достиг отметки –29 м. Начавшееся после этого повышение наблюдалось до 1995 г., при этом среднегодовые уровни превышали отметку –27 м.

Подъем уровня Каспийского моря последних лет обусловлен экстремально большим речным притоком и пониженным испарением. Равновесный уровень, соответствующий компонентам водного баланса за 1978—1995 гг., равен примерно –20 м. Поэтому остается неясным, является ли наблюдаемый ход уровня моря следствием глобальных климатических изменений или это следствие случайной комбинации повышенного речного притока и пониженного испарения, все же отвечающих стационарному режиму климатообразующих факторов.

Долгосрочный прогноз гидрометеорологических составляющих водного баланса на конкретную календарную дату, т. е. на год или несколько лет вперед, невозможен. Следовательно, невозможен и долгосрочный календарный прогноз уровня моря. Возможны лишь вероятностные прогнозы, например, в виде среднего положения уровня моря и отклонения от этого положения заданной вероятности (квантилей распределения).

В табл. 3.4 представлен пример вероятностного прогноза в виде условных распределений вероятности уровня на ближайшие десятилетия. Как следует из данных этой таблицы, диапазон возможных значений уровня достаточно широк. Отметка –26 м имеет обеспеченность 1% и должна учитываться при проектировании мероприятий по инженерной защите. Также вероятны и низкие стояния уровня моря на отметках –28 и –29 м.

На ближайшие 30 лет наиболее неблагоприятный, чреватый большими затоплениями, прогноз 0,1%-процентной обеспеченности составляет –25,48 м, а наиболее неблагоприятный прогноз 1%-процентной обеспеченности составляет –26,06 м.

Большая амплитуда многолетних колебаний уровня Каспийского моря, на которые накладываются его сезонные изменения, измеряемые несколькими дециметрами, а также краткосрочные колебания синоптического происхождения (сгоны и нагоны), амплитуда которых на отдельных участках побережья Каспийского моря достигает 2—4 м, затрудняют проектирование инженерной защиты территорий. Локальные защитные мероприятия не являются эффективными, и только стабилизация уровня моря в последние годы

Таблица 3.4. Вероятностный прогноз уровня Каспийского моря, м

Обеспеченность, %	Заблаговременность, годы							
	1	3	5	10	20	30	40	50
0,1	–26,53	–26,11	–25,87	–25,59	–25,48	–25,48	–25,54	–25,63
1	–26,66	–26,37	–26,20	–26,04	–26,02	–26,06	–26,13	–26,21
5	–26,77	–26,59	–26,50	–26,44	–26,51	–26,58	–26,66	–26,73
Среднее	–27,05	–27,14	–27,22	–27,40	–27,67	–27,83	–27,92	–27,98
95	–27,32	–27,69	–27,93	–28,37	–28,84	–29,07	–29,19	–29,23
99	–27,43	–27,91	–28,23	–28,76	–29,33	–29,59	–29,71	–29,75

Примечание. Безвозвратные изъятия 25 км³/год; начальный уровень –27,0 м.

предотвратила полное разрушение некоторых подобных объектов.

При современных технических возможностях управление колебаниями уровня Каспийского моря невозможно. Поэтому необходимы картирование зон риска затопления прибрежных территорий и принятие решения либо о выносе объектов из опасной зоны, либо обоснование и проектирование их инженерной защиты.

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ НАВОДНЕНИЙ НА ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМАХ, ВЫЗВАННЫХ ТЕХНОГЕННЫМИ ПРИЧИНАМИ

К основным причинам техногенных наводнений, т. е. затоплений долин рек или прибрежных территорий, связанных со строительством или эксплуатацией гидротехнических сооружений, можно отнести:

- прорыв напорного фронта сооружений и излив водохранилища в долину реки;
- полное открытие затворов водосбросных сооружений и сброс в нижний бьеф гидроузла расхода воды, превышающего пропускную способность речного русла;
- нерациональное управление режимом водохранилища (или каскада) в периоды прохождения высоких половодий и паводков;
- стеснение речной долины защитными дамбами недостаточной высоты и надежности и их прорыв при прохождении по реке максимальных расходов воды либо недостаточность систем водоотведения (водовыпусков, насосных станций и т. п.), приводящая к затоплению задамбовых пространств (что было, например, на Кубани в 2002 г.);
- повышенные попуски в нижние бьефы гидроузлов в периоды формирования или разрушения ледового покрова, вызывающие или усиливающие заторо- и зажорообразование.

Анализ причин и следствий техногенных наводнений начнем с самых серьезных — вызванных прорывом плотин. Разрушения плотин и их катастрофические последствия известны

с глубокой древности. Из описания разрушения в 1802 г. плотины Пуэнтес на р. Гвадалантин в Испании следует, что плотина из бутовой кладки высотой 50 м и протяженностью 282 м была прорвана после 11 лет эксплуатации. Волна прорыва произвела опустошение части г. Лорка, где погибли 600 человек.

В числе катастрофических разрушений плотин в наше время следует назвать перелив через высокую (262 м) арочную плотину Вайонт в Италии гигантской волны, возникшей в результате оползневого обвала объемом 400 млн. м³ грунта в водохранилище. Это привело к гибели около 1900 человек. Прорыв в 1979 г. грунтовой плотины высотой 27 м Мачху II в Индии привел, по официальным данным, к гибели 600 человек (неофициально — 5000) (Иващенко, 1993).

Аварии гидротехнических сооружений фиксируются во многих странах мира, но далеко не везде становятся известны не только широкой общественности, но и специалистам. Так, о сравнительно недавних разрушениях Киселевской плотины на р. Каква в Свердловской области и Тирлянкой на р. Тирлян (приток р. Белая) в Башкирии (Воробьев и др., 2003), сопровождавшихся человеческими жертвами, знает ограниченное число людей. Лишь в самое последнее время в России стали оперативно сообщаться сведения о ходе наводнений (возникших, в том числе, и в результате прорыва плотин и дамб обвалования), связанных с ними разрушениях и человеческих жертвах.

Опубликованные данные о повреждениях, авариях и разрушениях плотин в странах мира являются неполными. Относительно благоприятной можно считать лишь информационную ситуацию, касающуюся так называемых больших плотин. Такая информация публикуется международной комиссией по большим плотинам (International Commission on Large Dams, ICOLD) и некоторыми национальными комитетами этой организации. Однако и эти сведения, получаемые путем анкетирования национальных комитетов, далеко не полны.

Тем не менее приведенный ниже анализ этой информации дает общее представление о причинах, масштабах и частоте аварий больших плотин, прорыв которых особенно опасен. Сведения об авариях на больших плотинах примерно в сорока странах обобщены в специальном бюллетене ICOLD, изданном в 1995 г. (*Dam failures statistical analysis, 1995*). При этом установлено, что были прорваны 2,2% плотин, построенных до 1950 г., и лишь 0,5% более “молодых”.

И. Н. Иващенко (1993) собрал сведения о 2132 случаях повреждений и аварий плотин в разных странах мира, в том числе 1148 случаях аварий. Распределение аварий и разрушений по причинам и типам плотин приведено в табл. 3.5.

Последствия аварий на плотинах можно классифицировать следующим образом.

Экономические последствия:

- чрезвычайные затраты на эвакуацию спасаемого и пострадавшего населения и обеспечение его продуктами питания, одеждой, временным жильем, предоставление рабочих мест;

- затраты на очистку территории, подвергшейся затоплению;

- разрушение строений или их частей и потерю их содержимого включая жилье, промышленное или торговое имущество;

- разрушение источников водо- и энерго-снабжения, транспортных средств, линий электропередач и связи, подстанций, рекреацион-

ных объектов, сельскохозяйственных угодий, собственно гидротехнических сооружений;

- потери сельскохозяйственной продукции в растениеводстве и животноводстве, в том числе от прекращения орошения земель;

- потери вследствие вынужденного замещения гидроэлектроэнергии более дорогими видами электроэнергии;

- потери глубоководного водного пути и противопаводковой емкости.

Эти потери суммируются за период до завершения восстановления разрушенной плотины.

Социальные последствия. Многие из последствий этого класса плохо поддаются или вовсе не поддаются экономическому измерению. Однако они могут иметь ключевое значение в общественной оценке происходящего экстремального явления. При оценке последствий этого класса учитываются:

- численность населения, находящегося в условиях риска затопления территории, если оно не будет своевременно эвакуировано (определяется путем подсчета числа постоянных и временных жилых строений и числа людей в каждом из них, а также сотрудников хозяйственных объектов, школ и больниц в расчетной зоне затопления);

- потери человеческих жизней вследствие наводнения, которые зависят от численности населения в угрожаемой зоне, заблаговременности оповещения, скорости подъема уровня воды, глубины и скорости течения,

Таблица 3.5. Число аварий и разрушений на плотинах (Иващенко, 1993)

Причина аварии и (или) разрушения	Все типы плотин		Грунтовые плотины	
	число	%	число	%
Размыв при переливе воды через гребень	389	34	308	27
Нарушение устойчивости	355	31	266	23
Нарушение фильтрационной прочности	404	35	317	28
Итого	1148	100	891	78

температуры воды, наличия ледовых явлений и эффективности эвакуации;

— психологический травматизм, индивидуальный и (или) коллективный (потеря работы и здоровья, беспокойство о членах семьи, необходимость профессиональной медицинской помощи);

— потери памятников культуры и истории;

— политические потери или последствия (потеря доверия к владельцам гидротехнических сооружений, местной, отраслевой и федеральной принадлежности).

Экологические последствия. В этом классе учитываются потери ихтиофауны и диких животных в прибрежной зоне суши, резкое изменение руслового режима реки и т. д.

Обобщение данных инвентаризации и декларирования безопасности гидротехнических сооружений на конец 2002 г. показало, что в российский реестр внесено около 1100 сооружений, примерно 500 из которых охвачены декларированием безопасности. Это привело к следующей оценке технического состояния гидротехнических сооружений. В неудовлетворительном состоянии находятся 8% объектов, в опасном — 2%, нет сведений о состоянии около 10 000 сооружений. Можно полагать, что это в основном мелкие и бесхозные объекты. Однако не исключено, что в их числе могут оказаться плотины с напором более 6—8 м, разрушение которых представляет опасность для людей, живущих в долине реки непосредственно ниже гидроузла. Ликвидация этой неопределенности, выявление потенциально опасных объектов и приведение их в безопасное состояние либо спуск водохранилищ и демонтаж сооружений — одна из важнейших первоочередных задач. К ее решению, помимо федеральных надзорных органов, находящихся в ведении МПР России, должна быть привлечена местная администрация, которой в основном и придется иметь дело с последствиями возможного прорыва плотины.

МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ВОЗМОЖНОГО УЩЕРБА ОТ НАВОДНЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

В последние десятилетия повсеместно отмечается тенденция ускорения застройки прибрежных территорий — пойм, прирусловых террас. Однако несмотря на очевидную привлекательность, хозяйственное освоение прибрежных территорий приводит к увеличению риска материального ущерба в период высокой водности рек.

По данным Р. А. Нежиховского (1988), для города с населением до 50 000 человек и с преобладанием одно-, двухэтажной деревянной застройки ущерб большей частью составляет 10—12 тыс. долларов США/га. Число одноэтажных деревянных домов, полностью разрушенных или нуждающихся в капитальном ремонте, составляет 5—8% общего числа затопленных домов. В крупных современных городах удельный ущерб достигает 50—100 тыс. долларов США/га и более.

Размер ущерба зависит прежде всего от высоты и продолжительности стояния опасного уровня воды, площади затопления, времени года, в которое происходит наводнение. Суммарный ущерб определяется также степенью экономического развития территории, плотностью и ценностью застройки. Чем плотнее и ценнее застройка, тем больше ущерб в пересчете на 1 га затопленной площади. Косвенными показателями интенсивности наводнения и ценности 1 га городской территории могут служить соответственно уровень воды и плотность населения (при прочих равных условиях).

Первый показатель характеризует площадь затопления — при его увеличении происходит увеличение площади водного зеркала, а следовательно и площади затопления. Учитывая, что на водомерных постах уровень воды измеряется относительно разных условных плоскостей, в качестве косвенного показателя используют средние взвешенные по админи-

стративным единицам значения обеспеченностей максимальных уровней весеннего половодья. Это позволяет сопоставлять величины этого показателя по разным регионам.

Второй показатель связан с перечисленными выше характеристиками административных районов: плотностью застройки, ее ценностью, степенью экономического развития и т.п. Этот показатель использовался также А. Л. Рагозиным (1995) при оценке природных и техногенных рисков.

Таким образом, уравнение для расчета возможного ущерба от наводнений в расчете на 1 км² (U) для заданного региона может быть представлено в следующем виде:

$$U = f(D_n, P).$$

Здесь D_n — плотность населения (чел./км²), а P — средневзвешенное по площади региона значение обеспеченности максимального уровня воды (в долях единицы).

Такой подход был реализован в Гидрометцентре России в рамках программы “Безопасность” (Борщ, Мухин, 2000) для прогноза возможного ущерба от наводнений в пределах Московской области.

Были также рассчитаны и построены карты возможных значений ущерба от затоплений прибрежных территорий в Московской области при прохождении максимальных уровней воды весеннего половодья обеспеченностью 1, 5, 10, 25 и 50%. Этот метод представляется наиболее простым и универсальным и может быть легко применен в гидрологических прогнозах.

ПРОТИВОПАВОДКОВОЕ ЗНАЧЕНИЕ ВОДОХРАНИЛИЩ И ПРОБЛЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ УЩЕРБА

Весьма существенную роль в предотвращении и уменьшении ущерба от речных наводнений играют гидроузлы и каскады гидроузлов с водохранилищами. Так, водохранилище Зейской ГЭС способно в четыре раза уменьшить

максимальный расчетный расход воды в р. Зей, значительно уменьшив частоту и площадь паводковых затоплений в долинах Зеи и Амура.

Довольно велик противопаводковый эффект водохранилищ Волжско-Камского каскада гидроузлов, предотвративших масштабные наводнения в высокие половодья 1979 и 1991 гг., а также водохранилищ крупнейших в стране ГЭС на Ангаре и Енисее, существенно уменьшивших частоту и масштабы затоплений (в частности, заторного происхождения) в долинах этих рек.

Выше уже упоминалась роль Краснодарского водохранилища на Кубани в уменьшении ущерба от наводнений в 1980 и 2002 гг. Следует иметь в виду, что противопаводковые возможности водохранилищ далеко не безграничны. Как правило, они рассчитаны на предотвращение наводнений в половодья и паводки с вероятностью превышения раз в 100 лет. В более высокие (экстремальные) паводки на первое место выходит задача сохранения самого гидроузла, разрушение (прорыв) которого чревато большими последствиями, чем прохождение самого высокого естественного половодья (паводка).

Другими словами, это означает, что при достижении уровнем водохранилища отметки, превышение которой угрожает сохранности гидроузла, разрешается полное раскрытие всех водопропускных сооружений. При этом сбросной расход воды может значительно превосходить величину, обеспечивающую незатопление территории, подлежащей защите от наводнения в менее высокие (повторяемостью 1/100 или чаще) половодья и паводки.

По таким правилам работают многие крупные водохранилища включая имеющие специальное противопаводковое назначение. В их числе можно назвать уже упоминавшееся Зейское водохранилище, водохранилище Хоабинь на р. Да во Вьетнаме, защищающие от наводнений г. Ханой и долину р. Красная с населением около 20 млн. человек, а также водохранилище

Юмагузин на р. Белая в Башкортостане, в долине которой расположен г. Стерлитамак.

Одной из существенных причин серьезных последствий наводнений в селитебных зонах является ложное чувство безопасности населения (иногда и администрации), проживающего в нижних бьефах гидроузлов с регулирующими водохранилищами. Это приводит к освоению (подчас стихийному) и застройке пойменных земель, несмотря на то, что согласно проектам и правилам эксплуатации водохранилищ, эти земли могут подвергаться затоплению при сбросе максимальных расходов воды не только в экстремально многоводные годы, но и в средневысокие половодья и паводки.

Такие явления, частично связанные с отсутствием или недоступностью сведений о границах зон возможных затоплений, в том числе и сравнительно частых, в широких масштабах отмечаются в долинах Волги и Ангары. Так, ниже Волгоградского гидроузла на землях Волго-Ахтубинской поймы, в естественных условиях подвергавшихся затоплению каждые 3—5 лет, построены тысячи садовых домиков. В пойме Ангары ниже Иркутской ГЭС при увеличении сбросного расхода воды сверх 4000 м³/с (против 6000 м³/с, регламентированных проектом ГЭС и Правилами использования водных ресурсов Иркутского водохранилища) начинается затопление жилого фонда (в основном самостроя) в г. Иркутск и ряде других городов. Для предотвращения затопления указанных объектов, построенных без надлежащих обоснований и согласований, вынужденно нарушаются правила управления водохранилищами Волжского и Ангарского каскада гидроузлов и крайне осложняется водохозяйственная и социально-психологическая обстановка на территориях, расположенных в нижних бьефах плотин.

Важным вкладом в ведущуюся разными ведомствами работу по систематизации информации о наводнениях, их причинах и путях уменьшения ущерба, является монография, подготовленная по инициативе МЧС (Воробь-

ев и др., 2003). В этой работе отмечается следующее. Избежать катастрофических последствий наводнений можно при соблюдении трех условий: своевременный прогноз чрезвычайной ситуации, эффективные действия властей всех уровней по ее предотвращению, строгая персональная ответственность за несоблюдение первых двух условий.

К сожалению, все эти условия в ряде случаев не выполняются. Например, дамбы на Северном Кавказе не ремонтировались 20 лет, русла рек не расчищались 10—15 лет и т.д. Так, русло Кубани последний раз прочищалось около 10 лет назад, инженерные работы на Краснодарском водохранилище проводились 20 лет назад. По мнению специалистов, профилактика паводков, прогнозы, отселение людей, а главное — ремонт дамб и проведение противопаводковых мероприятий, в том числе и экстренных, позволяют предотвратить наводнения примерно в 70% обычных паводков. При этом затраты на профилактику и ликвидацию последствий наводнений находятся в соотношении 1 : 30.

Среди основных причин, усугубляющих разрушительные последствия наводнений в России, следует указать недостаточную подготовленность общей системы водохозяйственных служб, отсутствие заблаговременного оповещения органов управления и населения о приближающемся бедствии, а также отсутствие ответственных лиц среди собственников водных объектов, которые обязаны заниматься расчисткой рек.

Заслуживает внимания приводимый следующий перечень основных уроков наводнений последних лет (Воробьев и др., 2003).

Наводнения выявили крайнюю степень запущенности в решении проблемы ответственности за состояние и содержание гидротехнических сооружений, наличие большого числа бесхозных сооружений, находящихся в неудовлетворительном состоянии, свидетельством чему является прорыв многих плотин и заградительных дамб.

Наличие нормативно-правовых пробелов в решении задач по борьбе с наводнениями.

Недостатки подготовки спасательных формирований и самой организации поисково-спасательных работ.

Резкое уменьшение за последние 10 лет числа гидрологических постов на реках России, их крайне скудное техническое оснащение приборами и средствами связи.

Недостаточная подготовленность руководителей, особенно органов местного самоуправления, в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Плохая подготовленность населения к восприятию предупреждений об опасных явлениях и к действиям при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций.

Отсутствие правовых основ системы страхования сооружений в зонах затопления.

Отсутствие отработанной системы оповещения сельского населения и резкое уменьшение числа сетей проводного вещания в сельской местности.

Наличие в зонах затопления большого числа сооружений, построенных из быстроразрушающихся материалов и неспособных противостоять даже малым паводкам.

ЛИТЕРАТУРА

- Аполлов Б. А., Калинин Г. П., Комаров В. Д., 1974.** Курс гидрологических прогнозов, Л., Гидрометеиздат, 419 с.
- Асарин А. Е., 2001.** Речные наводнения: причины и последствия. Что можно и нужно сделать? Центр стратегических исследований гражданской защиты, Информационный сборник, № 10, М., МЧС России.
- Асарин А. Е., 2003.** Наводнения на р. Лене: причины и пути смягчения, в сб.: Безопасность энергетических сооружений. Вып. 11. Гидрологическая безопасность и защита окружающей среды и населения от паводков, М., с. 186—200.
- Бефани А. Н., 1949.** Основы теории ливневого стока, Одесса, Труды ОГМИ, ч. 1, вып. 4, с. 39—175.
- Бефани Н. Ф., 1977.** Прогнозирование дождевых паводков на основе территориально общих зависимостей, Л., Гидрометеиздат, 184 с.
- Борщ С. В., Мухин В. М., 2000.** Метод прогноза возможного ущерба от наводнений (на примере Московской области), Метеорология и гидрология, № 7, с. 98—108.
- Бузин В. А., 1980.** Факторы, определяющие максимальный заторный уровень воды, Труды ГГИ, вып. 270, с. 33—39.
- Бузин В. А., Болотников Г. И., Филиппов А. М., 1989.** Заторы и зажоры льда на реках — методы изучения, расчета и прогноза, в кн.: Проблемы современной гидрологии, Л., Гидрометеиздат, с. 220—231.
- Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И., 2003.** Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы, М., ООО «ДЭКСПРЕСС», 352 с.
- Гидротехнические сооружения, 1987.** Основные положения проектирования, СНиП 2.06.01-86, М., Госстрой СССР.
- Доброумов Б. М., Тумановская С. М., 2002.** Наводнения на реках России: их формирование и районирование, Метеорология и гидрология, № 12, с. 70—78.
- Запорожченко О. В., 2004.** Международная селевая конференция, Пятигорск, 17—21 ноября 2003 г., Гидротехническое строительство, № 4, с. 45—47.
- Ивашенко И. Н., 1993.** Инженерная оценка надежности грунтовых плотин, М., Энергоатомиздат, 144 с.
- Карасев И. Ф., 1968.** О принципах размещения и перспективах развития гидрологической сети, Труды ГГИ, вып. 164, с. 3—36.
- Корень В. И., 1991.** Математические модели в прогнозах речного стока, Л., Гидрометеиздат, 198 с.
- Корень В. И., 1984.** Статистический алгоритм адаптации при выпуске непрерывных краткосрочных прогнозов стока, Метеорология и гидрология, № 3, с. 80—84.
- Корень В. И., Чернова Н. П., 1982.** Учет распределенного бокового притока при расчетах неустановившегося движения воды, СПб, Гидрометеиздат, Труды Гидрометцентра СССР, вып. 240, с. 67—73.
- Кузин П. С., 1972.** Классификация рек и гидрологическое районирование СССР, Л., Гидрометеиздат, 456 с.
- Кучмент Л. С., 1972.** Математическое моделирование речного стока, Л., Гидрометеиздат, 192 с.

- Лисер И.Я., 1967.** Весенние заторы льда на реках Сибири, Л., Гидрометеиздат, 104 с.
- Малик Л.Г., 2003.** Причины и последствия наводнений, в сб.: Безопасность энергетических сооружений, вып. 11, Гидрологическая безопасность и защита окружающей среды и населения от паводков, М., с. 50—74.
- Мухин В.М., 1992.** Прогнозы гидрографа горной реки в вероятностном виде, Труды Гидрометцентра СССР, вып. 324, с. 22—34.
- Мухин В.М., 1996.** Моделирование экстремальных ситуаций на горных реках с учетом вероятных изменений климата, Труды Гидрометцентра СССР, вып. 329, с. 11—20.
- Нежиховский Р.А., 1971.** Руслевая сеть бассейна и процесс формирования стока воды, Л., Гидрометеиздат, 475 с.
- Нежиховский Р.А., 1988.** Наводнения на реках и озерах, Л., Гидрометеиздат, 184 с.
- Осипов В.И., Королев В.А., Мамаев Ю.А., Рагозин А.Л., 1999.** Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Региональные проблемы безопасности с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф, М., МГФ “Знание”, 246 с.
- Пелиновский Е.М., 1996.** Гидродинамика волн цунами, Нижний Новгород, Изд-во Института прикладной физики РАН, 274 с.
- Понявин И.Д., 1965.** Волны цунами, Л., Гидрометеиздат, 110 с.
- Природные опасности России, 2002.** Том 1. Природные опасности и общество, под ред. В. А. Владимирова, Ю. Л. Воробьева, В. И. Осипова, М., Крук, 245 с.
- Природные опасности России, 2001.** Том 5. Гидрометеорологические опасности, под ред. Г.С. Голицына, А.А. Васильева, М., Крук, 295 с.
- Пясковский Р.В., Померанец К.С., 1982.** Наводнения. Математическая теория и предсказания, Л., Гидрометеиздат, 176 с.
- Рагозин А.Л., 1995.** Современное состояние и перспективы оценки и управления природными рисками в строительстве, в кн.: Анализ и оценка природного и техногенного риска в строительстве, М., Изд-во ПНИИИС, с. 9—25.
- Российский гидрометеорологический энциклопедический словарь, 2009.** Том II, Л—П, под ред. А.И. Бедрицкого, СПб, М., Летний Сад, 310 с.
- Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989а.** Вып. 2. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках, Л., Гидрометеиздат, 246 с.
- Руководство по гидрологическим прогнозам, 1989б.** Вып. 3. Прогнозы ледовых явлений на реках и водохранилищах, Л., Гидрометеиздат, 168 с.
- Таратунин А.А., 2000.** Наводнения на территории Российской Федерации, Екатеринбург, УРЦ “Аэрокосмология”, 376 с.
- Флейшман С.М., 1970.** Сели, Л., Гидрометеиздат, 352 с.
- Berz G., 2000.** Flood disasters: Lesson from the past-worries for the future, Water and Maritime Engineering, March 2000.
- EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database, 2011.** Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
- Dam failures statistical analysis, 1995.** Paris, Bulletin 99 ICOLD, www.emdat.be.
- Flood Warning in Queensland.** Bureau of Meteorology, Australian Government, http://www.bom.gov.au/hydro/flood/qld/brochures/qld/flid_qld.shtml.
- Guide on Hydrologic Practice, 1994.** WMO, No. 168.
- Guide on Hydrologic Practice, 2009.** WMO, No. 168.
- Guha-Sapir D., Hargitt D., and Hoyois Ph., 2003.** Thirty years of natural disasters 1974–2003. UCL Presses Universitaires de Louvain, CRED-UCL, 190 p. <http://www.cred.be/publications>.
- Hoyois Ph. and Guha-Sapir D., 2003.** Three decades of floods in Europe: A preliminary analysis of EMDAT data, CRED-UCL, hh/15, <http://www.cred.be/publications>.
- Kundzewicz Z.W., 2006.** Climate change and floods, Bulletin of WMO, July 2006, http://www.wmo.int/wcc3/bulletin/55_3_en/55_3_kundzewicz_en.html.
- Mosley M.P., 1994.** The Legal Basis and Role of Hydrological Services, WMO/TD, No. 602, 39 p.
- Science Plan on Hazards and Disasters, 2008.** Earthquakes, Floods and Landslides, ICSU Regional Office for Asia & Pacific, 48 p.
- Vuglinsky V. et al., 1995.** Casebook on Operational Hydrological Networks in RA VI (Europe), WMO/TD, No. 623, 171 p.