

Природные и антропогенные причины наводнений (Работа выполнена при поддержке РФФИ)

д.г.-ф.н. Авакян А.Б., Истомина М.Н.

Наводнения принадлежат к одним из самых разрушительных природных явлений, вызывающих большие жертвы среди населения. Согласно данным ООН за период 1963-1992 гг. наибольшее количество бедствий, сопровождаемых гибелью более 100 чел., было связано с наводнениями (202 случая), тропическими штормами (153), эпидемиями (133) и землетрясениями (102). Наибольшее количество бедствий, каждое из которых сопровождается потерей годового внутреннего национального продукта в размере 1% и выше, также приходится на наводнения и тропические штормы (76 и 73 случая соответственно), [8].

Наводнения сопутствуют человеческому обществу с древнейших времен. До наших дней дошли сведения о катастрофическом наводнении на р. Хуанхэ, произошедшем в 2297 до н.э., и на р. Нил, которое было примерно 3 тыс. лет тому назад. Но если ранее наводнения происходили чрезвычайно редко, то за последние столетия, и в особенности в наше время, их частота и размеры причиняемого ущерба начали стремительно расти. Так, если до нашей эры наводнения в наиболее паводкоопасном районе – Китае происходили раз в 50 лет, то теперь нередко случается, что в течение одного года здесь происходит несколько катастрофических наводнений.

В большинстве районов земного шара наводнения вызываются продолжительными интенсивными дождями и ливнями в результате прохождения циклонов. На реках Северного полушария наводнения обусловлены бурным таянием снегов, зажорами и заторами льда. Предгорья и высокогорные долины подвергаются наводнениям, связанным с прорывами внутриледниковых и завальных озер. В приморских районах при сильных ветрах нередко нагонные наводнения, а при подводных землетрясениях и извержениях вулканов наводнения, вызываемые волнами, - цунами [1].

От **дождевых паводков** страдают практически все регионы России: Дальний Восток, Западная и Восточная Сибирь, европейская часть. Так, например, на Дальнем Востоке на Амуре и его притоках Зее, Бурее, Уссуре и Шилке наводнения, вызываемые летними паводками, происходят ежегодно, а иногда их бывает несколько в году. Не мало катастроф вызвали дождевые паводки и на европейской части России. Проливные дожди в районе Мценска и Тулы в 1882 г. размывали железнодорожную насыпь, поскольку отверстие трубы в насыпи диаметром 1.1 м оказалось недостаточным для пропуска паводка. Машинист проходившего поезда не заметил этого, и поезд рухнул в овраг [9].

До создания системы водохранилищ и строительства высоких гранитных набережных на Москва-реке нередко были летние ливневые паводки в столице. Так, в конце июня 1924 года в результате сильнейшего ливня под водой оказались центральные районы города, примыкающие к набережным Москва-реки и Яузы, а некоторые улицы, в частности Неглинная, стали “судоходными”. Многих людей на лодках пришлось вывозить в безопасные места.

Страшные разрушения приносят ливни и в странах Западной Европы.

Ежегодно над океаном формируется от 80 до 100 тропических циклонов. От вызванных ими ураганов и наводнений ежегодно гибнет около 250 тыс. человек, а экономический ущерб приближается к 7 млрд. долл. Установлено, что от катастрофических последствий тропических циклонов постоянно страдает население 50 стран. Так, в 1979 г. в Индии наблюдалось катастрофическое наводнение в пустыне Тар на северо-западе страны. После длительных и сильнейших ливней, вызванных

приходом юго-западного муссона, обычно пересыхающая в зимний период р. Луни, протекающая в пустыне, вышла из берегов. В штате Раджастхан погибло несколько сотен человек, было разрушено более тысячи деревень, погибло 107 тыс. голов крупного рогатого скота. Во время паводка на р. Янцзы в Китае в 1931 г. было затоплено свыше 300 тыс. км² территории, что превышает площадь Великобритании. Подобных примеров множество.

Процесс формирования **весеннего половодья** – сложный природный процесс. Половодья образуются в результате таяния снега весной на водосборах рек умеренного пояса, а также на реках, имеющих горно-ледниковое питание. На характер формирования и прохождения половодья оказывают значительное влияние резкое и стабильное повышение температуры весной и запас воды в снеге. Половодье может принять катастрофический характер, если инфильтрационные свойства почв значительно уменьшились за счет перенасыщенности ее влагой из-за обильных осенних дождей и глубокого промерзания в суровую зиму. К значительному увеличению половодья могут привести весенние дожди, когда пик половодья совпадает с пиком паводка. Подобной причиной было вызвано небывалое наводнение в бассейне Верхней Волги в 1908 г. Из-за чрезвычайно дружной весны снег, запасы воды в котором превышали норму на 170-200%, сошел за очень короткий промежуток времени. Почва сильно промерзла за зиму. Положение усугубилось еще тем, что в конце апреля в течение нескольких недель шли проливные дожди. В результате были затоплены десятки тысяч гектаров посевов, без крова остались 50 тыс. человек. А вот другой пример из недавнего прошлого. В конце мая 1983 г. в США над Скалистыми горами прошел мощный циклон, сопровождавшийся сильнейшими снегопадами. Вслед за этим последовало внезапное потепление, и в период с 6 по 28 июня максимальный сток составил ~ 210% от нормы. Впервые за всю историю своего существования переполнились крупнейшие водохранилища на р. Колорадо - Мид и Пууэлл, а также другие 12 водохранилищ каскада. Система пришла в аварийное состояние и не смогла справиться с разбушевавшейся водой.

В горных районах в период снеготаяния особенно велика роль дождей. Тут сказываются и дополнительное поступление тепла, и разрушительная работа дождевых капель, и энергия многочисленных мелких ручьев. Именно при подобной ситуации формируются выдающиеся паводки на горных реках Крыма, Кавказа, Карпат и других районов.

Реки, берущие начало в горах и текущие затем по пустыне, интенсивно насыщаются наносами. При больших расходах воды река то здесь, то там прорывает береговые валы и устремляется в низины. Интересна в этом отношении история г. Турткуль. В 1932 г. блуждающая Амударья вплотную подошла к городу, но берег был спешно укреплен. Прошло десять лет, и в одну из летних ночей 1942 г. река вновь повела наступление на город. Берег рушился на глазах у людей. Огромные куски земли один за другим с шумом падали в разбушевавшуюся реку и исчезали в водоворотах. Люди бросали в реку мешки с песком, бревна, камни, вязанки с хворостом и пр. Но ничто не помогало. Областной центр пришлось перенести в г. Нукус. [9].

В отличие от половодий паводки могут повторяться несколько раз в году. Особую угрозу для населения представляют так называемые внезапные паводки, связанные с кратковременными, но очень интенсивными ливнями. Паводки могут происходить и зимой, в результате оттепелей при прохождении циклонов.

Большой ущерб хозяйству стран Северного полушария приносят зимние наводнения на реках, обусловленные **зажорами и заторами льда**. Причина зажоров - образование значительных скоплений шуги и донного льда в руслах рек в период резкого похолодания поздней осенью и в начале зимы, вызывающие стеснение водного сечения и связанный с этим подъем уровня воды непосредственно на участке зазора и

выше по течению. Зажоры образуются на шугоносных реках в период формирования ледяного покрова на участках с повышенными уклонами, а также в местах стеснения русла островами, валунами, где образуются ледяные перемычки. Кроме того, зажоры формируются при ледоставе ниже больших полыней в результате заноса шуги под ледяной покров. Поскольку зажорные наводнения случаются в начале, а иногда и в середине зимы, их продолжительность может достигать 1.0-1.5 месяца.

Зажорные явления характерны не только для рек западных и южных районов Европейской территории России (Северная Двина, Печора, Нева, Нарва, Западная Двина), Кавказа, Средней Азии (Амударья, Сырдарья), Приморья, Камчатки и Сахалина, но также и для рек северных районов Сибири (Иртыш, Енисей, Ангара). Средние многолетние зажорные подъемы уровня на большинстве рек не превышают 2 м, однако максимальные достигают 3-5 м, а на Западной Двине, Ангаре и Томи –5-7 м [7].

Зажор льда - явление сходное с затором льда. Однако заторы связаны в первую очередь с неодновременностью вскрытия рек в конце зимы, имеющих большую длину и протекающих с юга на север. На таких реках движение половодья совершается быстрее продвижения весны, вследствие чего сокращается продолжительность подготовительного периода вскрытия рек, и весеннее половодье взламывает мощный ледяной покров, мало тронутый тепловым разрушением. Продолжительность заторных наводнений может составлять от нескольких часов до 15 сут. Искусственное разрушение скоплений льда не всегда эффективно, и часто требуется краткосрочная эвакуация людей из зон возможного затопления. При прорыве мощных заторов могут срезаться осередки, небольшие острова, подрезаться берега рек [10].

Заторные наводнения вызываются также определенными геоморфологическими и гидродинамическими условиями. Заторы могут превращаться в наледи - сплошные ледяные дамбы, образующиеся при замерзании воды в зоне ее контакта с неосвободившимся ото льда участком русла. Заторные наводнения сопровождаются скоплением огромных масс льда по берегам, что также наносит большой урон хозяйству пойм. На территории России более чем на 1100 реках насчитывается примерно 2400 участков, на которых возможно образование зажоров и заторов льда. В США ущерб от заторно-зажорных наводнений составляет до 25% от общего среднегодового ущерба, причиняемого наводнениями [1,2].

Наиболее мощные заторы образуются после холодной зимы при дружном формировании весеннего половодья и при расходах воды, близких к максимальному. Большая повторяемость заторов льда (70-100%), высокие заторные уровни (10-25 м) и заторные подъемы (4-6 м) наблюдаются на больших реках Сибири, вследствие повышенной прочности ледяного покрова, значительной интенсивности и больших расходов воды весеннего половодья [6].

В бассейне р. Лена в Восточной Сибири заторные явления наблюдаются ежегодно. Река протекает с юга на север и берет свое начало в Байкальском хребте (Иркутская область), впадает в Море Лаптевых (Республика Саха - Якутия). Площадь бассейна р. Лена составляет 2490 тыс. км², протяженность – 4400 км; главные притоки: Вилюй, Киренга, Витим, Олёкма, Алдан.

Особенно благоприятные условия формирования заторов льда весной создаются на р. Лене в результате не только интенсивного развития паводковой волны под влиянием дружной весны, но и почти одновременного вскрытия главной реки и ее притоков. Вскрытие р. Лены происходит сверху вниз по течению со скоростью в среднем 100 км/сут. Почти одновременно вскрываются отдельные большие участки (200-300 км), расположенные преимущественно ниже участков крупных заторных скоплений. Хотя количество заторных участков уменьшается по длине реки, но размеры их увеличиваются в 5-10 раз, достигая 100-150 км в низовье реки. Средняя часть реки отличается наибольшей повторяемостью заторов, количеством заторных

участков и их размерами, а также мощностью заторных скоплений [6].

Следует отметить, что р. Лена изобилует множеством больших и малых островов, на которых наиболее часты заторы повышенной мощности, обуславливающие катастрофические наводнения. Именно на таком участке расположен г. Якутск. Самым катастрофическим было наводнение 1864 г. Наивысший уровень воды достиг 11.74 м над нолем графика водомерного поста. В 1807 и 1809 гг. затоплению подверглась центральная часть города Якутск. Есть сведения о больших наводнениях в 1830, 1894, 1902, 1904, 1907, 1913, 1917, 1924 и 1933 гг., во время которых большая часть города находилась в воде. В 1955 г. уровень воды в Лене в 40 км ниже Якутска в результате затора поднялся более чем на 10 м. Сложная ледовая обстановка наблюдалась и в последние годы XX в. [11].

Мощность ленских заторов меняется из года в год в довольно широких пределах, меняется и место их формирования. Во время интенсивного заторообразования Республика Саха - Якутия несет огромный ущерб, так как при этом подвергаются затоплению населенные пункты и сельскохозяйственные угодья, повреждаются гидротехнические сооружения, суда и другие объекты.

В Сибири и на Дальнем Востоке зимой 2000-2001 гг. выпало большое количество снега, а сильные морозы сковали льдом реки на большую глубину. Неблагоприятные погодные условия обусловили образование мощных заторов весной. В первой половине мая 2001 г. на юге бассейна р. Лена начался резкий подъем уровня воды в притоках реки из-за интенсивного таяния снега, а также выпадения осадков до 23 мм в пик весеннего половодья на территории Иркутской области. В течение нескольких суток усложнилась ледовая обстановка на водотоках Республики Саха - Якутия, где уровни воды в реках Алдан и Лена превысили критические. В результате прихода первой паводковой волны образовался ледяной затор (протяженность - 80 км) ниже по течению в 40 км от г. Ленск (Ленский улус). Произошел подъем уровня воды в р. Лена до отметки 1740 см (критический - 1350 см). Вторая более мощная паводковая волна со стороны Иркутской области вызвала подъем уровня воды в р. Лена в районе города до рекордной отметки 1985 см в результате образования 100-километровой ледяной глыбы. Мощный ледяной затор протяженностью 50 км образовался на р. Алдан (Томпонский улус), в зону затопления попали н.п. Кескил, Бордой, Новые и Старые Сайды, Хандыга [13].

Для минимизации возможного ущерба от заторов необходимо проведение как предупредительных мероприятий (русловыправительные работы; взламывание льда ледоколами; разделение ледяного покрова на карты с помощью ледорезных машин; ослабление льда благодаря усиленному поглощению его поверхностью солнечной радиации после посыпки темными порошкообразными материалами; ослабление льда путем воздействия на него химическими веществами для ускорения таяния ледяного покрова и др.), так и мероприятий для борьбы с уже образовавшимися заторами (применение взрывов, термитных смесей, бомбометания с самолетов, обстрела минометами и орудиями, ледоколов и др.). Коренному изменению гидрологического, термического и ледового режимов водотока способствует сооружение гидроузлов. Строительство каскада гидроузлов может полностью ликвидировать образование заторов на реке. Сооружение же изолированного гидроузла может вызвать заторы там, где их раньше не наблюдалось [4].

Все перечисленные мероприятия могут быть разделены на однократные и многократные. Сооружение гидроузлов и проведение русловыправительных работ требуют однократных капиталовложений. Многократные меры выполняются практически ежегодно. Применение ледоколов считается одной из эффективных профилактических мер для предупреждения заторов. С их помощью в пределах заторного участка, несколько выше и на довольно значительном участке ниже него проводится

расчленение ледяного покрова на отдельные продольные полосы, которые при повышении уровней и скоростей течения взламываются и сносятся вниз с заторного участка. Применение ледорезных машин осуществляется там, где реки имеют небольшую глубину и проведение работ ледоколами невозможно. Ослабление льда с помощью применения посыпки темными порошкообразными материалами (уголь, шлак) наилучшие результаты дает в арктических районах, где летом солнце светит круглые сутки. Интенсивность таяния зачерненного льда резко снижается при похолодании, что может вызвать увеличение толщины ледяного покрова при замерзании воды, образовавшейся за счет таяния снега. В районах, где возможно периодическое похолодание, зачернение может применяться как вспомогательный способ при работе ледоходов. Ослабление льда при помощи химикатов (и в частности солей) также рассматривается, главным образом, как вспомогательное средство. Сущность этого способа заключается в том, что химические вещества плавят верхний слой льда и под действием образовавшегося раствора происходит постепенное равномерное разрушение нижележащих слоев льда. Борьба с уже образовавшимися заторами может осуществляться с помощью обстрела из орудий и минометов. Такой способ может быть эффективным, если затор возник вследствие расклинивания крупной льдины, а река ниже по течению свободна от льда. Бомбометание может быть рекомендовано при организации работ по схеме, предусматривающей непрерывное баражирование самолетом участка реки, где ожидается образование затора и немедленный вызов бомбардировщиков, как только начнет образовываться затор. При сформировавшемся заторе применение авиации мало эффективно. Применение ледоколов может быть наиболее эффективным способом разрушения сформировавшегося затора, если они имеют достаточную мощность. При разрушении затора должны работать два ледокола, чтобы иметь возможность оказывать при необходимости помощь друг другу. Преимущество применения взрывных работ перед бомбометанием состоит в том, что заряд размещается в льдине именно там, где это может обеспечить необходимое разрушение. Применение термитных смесей эффективно лишь при наличии очень плотного затора, когда можно заложить заряд в толщу льда, причем вес заряда может составлять от 40-80 кг до 5 т в зависимости от мощности заряда [3, 4].

Большое значение для повышения эффективности предупреждения и особенно борьбы с заторами имеет надлежащая организация работ. Предупреждение заторов должно проводиться систематически на основе специально выполненных проектно-изыскательских проработок с учетом всех имеющихся средств, которые должны в плановом порядке, к определенному времени и в необходимых количествах сосредоточиваться в соответствующих пунктах. При борьбе с уже образовавшимися заторами огромное значение играет фактор времени, поэтому первостепенное значение приобретает своевременное обнаружение затора с помощью авианаблюдений и быстрое принятие мер по его ликвидации.

Для разрушения ледяных заторов на р. Лена были произведены многообразные взрывные работы и бомбометание, в результате чего частично удалось их разрушить. Уровень воды в районе г. Ленск понизился на несколько метров. Разрушение затора сформировало паводковую волну в направлении к г. Якутск. Для спасения г. Якутск были проведены работы по отсыпке дамб в прибрежной части города. Общая протяженность дамб составила 7.7 км, высота - 3 м, ширина - 4-7 м. По данным авиаразведки произошло образование ледяного затора в районе н.п. Кангалассы и Намцы. В п. Кангалассы уровень воды в р. Лена 22 мая повысился до отметки 1247 см (критический - 910 см), [13].

Ущерб в результате заторного наводнения катастрофический. По предварительным данным только в результате затопления г. Ленск погибли 6 чел. и пропали без вести 2 чел., пострадали 5162 жилых дома, в которых проживало 27500 чел., эва-

куировано порядка 18 тыс. чел., полностью уничтожен речной флот Ленска. Для ликвидации заторов ушли тонны взрывчатки и сотни авиабомб. Приблизительный материальный ущерб оценивается уже в 3.9 млрд. руб. По данным МЧС России на 21 мая подлежит восстановлению 1831 дом, 396 км линий электропередачи, 164 трансформаторные подстанции, 184 км дорог, 2 моста, 470 км линий связи, 5 радиопередающих станций, 7 объектов здравоохранения, 26 образовательных учреждений [13].

Систематические данные о размерах ущерба, причиняемого в целом по России заторами и зажорами льда, отсутствуют. Для того чтобы добиться снижения ущерба, наносимого заторами, необходимо ориентироваться на мероприятия, предупреждающие заторообразование. Борьба с уже образовавшимися заторами несравненно сложнее и менее эффективна, чем мероприятия по его предупреждению [3].

В предгорьях и высокогорных долинах нередки наводнения, вызываемые **прорывами внутриледниковых и завальных озер**. Последние образуются при перегораживании русел горных рек языками пульсирующих ледников, горными породами из-за обвалов и оползней, а также при схождении селевых потоков. Такие наводнения носят эпизодический характер, но по разрушительной силе нередко превышают другие виды паводков, поскольку объем воды, накопленной выше завальной плотины, может достигать нескольких кубических километров, а время добега волны после прорыва дамбы - исчисляться минутами. В Альпах прорывы завальных озер и вызываемые ими наводнения за последние 30 лет наблюдались каждые 2-3 года. В Гималаях за предыдущие 200 лет зарегистрировано 35 катастрофических паводков, произошедших по причине прорыва подпруженных оползнями или ледниками озер. Так, например, в 1930 г. в верхней части бассейна р. Шайок, притоке Инда, образованная языком ледника перемычка в русле составила в ширину 2.5 км. Выше нее аккумулированный объем воды составил 1.35 км³. При прорыве максимальный расход воды достигал 22625 м³/с [1, 2].

Из 200 столиц мира примерно половина находится в морских устьях рек. Семнадцать из двадцати трех городов-мультимиллионеров с численностью населения свыше 5 млн. человек также расположены в устьях рек. Многие из них оказываются во власти грозных стихийных сил природы.

Угрозу для приморских районов, лежащих на пути движения циклонов, представляют **нагонные наводнения**. Их причина заключается в образовании в центре действия циклона при его прохождении над морем длинной волны. При подходе к побережью в районе шельфовой зоны высота волны резко возрастает. Ее существенному увеличению способствуют сужения в заливах и эстуариях. Особую опасность нагонные наводнения представляют на побережьях с пологими невысокими берегами (как, например, в Санкт-Петербурге) или же там (как, например, в Нидерландах), где 25% территории находится ниже уровня моря. Нагонные наводнения обычно вызываются сильными штормами, ливнями и ураганным ветром. По своим последствиям они могут быть особенно тяжелы, если по времени совпадут с приливом. В нашем столетии самое значительное нагонное наводнение в Европе произошло в начале 1953 г. в Нидерландах: защитные дамбы были разрушены на значительном участке побережья страны, и морские воды проникли в глубь территории на расстояние до 100 км. В устьях рек Рейн, Маас, Шельда уровень воды поднялся на 3-4 м. В целом было затоплено приблизительно 8% территории страны, погибло 2 тыс. человек. В 1970 г. на территории Бангладеш и Индии в дельте Ганга катастрофическое нагонное наводнение затопило более 20 тыс. км². По некоторым оценкам, жертвами наводнения стали 1.5 млн. человек. Нагонным наводнениям подвергается Лондон: с XIII в. зафиксировано более 10 катастрофических наводнений. С момента основания Санкт-Петербурга и по сей день зарегистрировано более 300 наводнений, из них более чем в 260 случаях вода поднималась выше 1.5 м над ординаром.

Самым памятным для Санкт-Петербурга было наводнение 7(19) ноября 1824 г. День 18 ноября накануне наводнения был дождливым, дул сырой и пронзительный юго-западный ветер. К вечеру ветер усилился, и вода в Неве сильно поднялась. Многочисленные реки и каналы невской дельты слились с водами, покрывающими улицы. Вода все продолжала прибывать. В середине дня ветер достиг особой силы. Под натиском яростных волн и ураганного ветра рушились стены домов, срывались крыши, падали вырванные с корнем деревья.

Наводнение 1824 г. принесло Санкт-Петербургу огромные убытки. Было полностью разрушено 324 дома, повреждено 3257 разных строений (т. е. половина всех имевшихся). Из 94 судов, стоявших в гавани, удалось спасти только 12. Погибло несколько сот человек. Долгое время в городе свирепствовали простудные заболевания. Цены на продукты питания, сено и дрова резко подскочили. Еще долгое время спустя это наводнение именовалось „потопом” [1, 9].

Другая разновидность морских наводнений - **цунами**. Носящие это имя волны образуются при подводных землетрясениях и извержениях подводных вулканов. Скорость распространения цунами велика и достигает иногда 1000 километров в час. Длина варьируется в значительных пределах от 5 до 1500 км. Обычно цунами - это несколько волн, идущих друг за другом. В открытом океане заметить их невооруженным глазом практически не возможно, так как их высота не превышает 2 метров. Однако по достижении шельфа высота волны резко увеличивается. Гигантский водяной вал высотой от 10 до 50 метров представляет собой бурлящую пенящуюся стену с почти вертикальным фронтом.

В наибольшей степени воздействию цунами подвержены Япония, Тихоокеанское побережье США, Курильские острова. Так, 5 ноября 1952 г. три волны цунами, обрушившиеся на берег с интервалом 20 мин (при этом высота самой большой из них достигала 10 м), практически стерли с лица земли г. Северо-Курильск. Известна историческая катастрофа, связанная с цунами, и в Европе: в 1755 г. 20-метровая волна разрушила столицу Португалии Лиссабон, погибло 10% жителей полумиллионного города. По продолжительности затопления такие наводнения - самые быстротечные по сравнению с нагонами, когда вода стоит в течение нескольких часов, или с половодьями, когда вода не уходит с залитых территорий порой несколько месяцев. Однако по разрушительной силе цунами нет равных [9].

К сожалению, своей хозяйственной деятельностью человек сильно усугубил пагубные последствия природных наводнений и вызвал многие наводнения, которых ранее в природе не было.

С ростом хозяйственного освоения территорий на увеличение характеристик паводков и половодий все большее воздействие оказывают антропогенные факторы. Причины наводнений, обусловленные антропогенным воздействием, можно свести в несколько групп.

В наибольшей степени увеличение и повторяемость паводка связаны **со сведением лесов**, обладающих значительной водорегулирующей способностью за счет высокой инфильтрации лесных почв и лесной подстилки, а также задержания осадков кронами деревьев. В лесах на песчаных и супесчаных почвах коэффициент стока составляет 0.01-0.09, на глинистых в сосновых лесах - 0.12 и в еловых - 0.38-0.58. На тех же типах почв на безлесных участках этот показатель составляет 0.5-0.9. Глубина промерзания лесных почв значительно меньше, чем луговых, что также способствует лучшей инфильтрации воды [2].

Благодаря тому, что таяние снега и оттаивание почвы в лесу происходит медленнее, чем на открытых пространствах, сроки весеннего половодья растягиваются, что ведет к снижению уровня воды в речной сети. Установлено, что в залесенном бассейне умеренного пояса половодье в среднем продолжается 40 сут., в то время

как в поле - 9 сут. Поверхностный сток в лесу составляет примерно 5% средних расходов воды от суммы осадков, что примерно в 15 раз меньше, чем сток в поле. Леса предотвращают развитие эрозионных процессов, обеспечивают сохранение мелких ручьев и рек, что способствует разветвленности русловой сети. После рубок инфильтрационные свойства почвы снижаются в 3.5 раза, интенсивность ее смыва увеличивается в 15 раз. Водный баланс меняется в направлении увеличения суммарного стока, главным образом за счет возрастания его поверхностной составляющей по указанной выше причине, а также за счет прекращения перехвата осадков лесным пологом и кронами.

Только за 20 лет между Всемирными конференциями по окружающей среде и развитию в Стокгольме (1972 г.) и Рио-де-Жанейро (1992 г.) площадь лесов на планете сокращалась примерно на 180 тыс. км²/год, при этом восстановление лесов осуществлялось не более, чем на 10% площади вырубок.

На увеличение максимального стока значительно влияет **осушение болот**, которые являются естественными аккумуляторами воды. На основе исследований, проведенных в Карелии, наглядно видна роль болот лесной зоны. При высокой интенсивности осушительных мероприятий среднегодовой сток увеличился с 8 до 22%. Максимальный среднесуточный модуль стока весеннего половодья на неосушенном водосборе почти в 2 раза меньше, чем на осушенном. Максимальные модули дождевых паводков на осушенных водосборах увеличиваются на 60-160%. За период наблюдений, проведенных на юго-востоке Финляндии в 1935-1979 гг., было определено, что осушение болот привело к росту всех характеристик стока. Среднегодовой сток увеличился на 93 мм (43%), максимальный расход при летнем паводке - на 131%.

Значительное влияние на увеличение стоковых характеристик оказывает **нерациональное ведение сельского хозяйства**, ведущее к уменьшению инфильтрационных свойств почв и усилению эрозии. Одна из основных причин заключается в переуплотнении почвенного покрова в период обработки. Повышенные характеристики весеннего половодья вызываются также более сильным промерзанием открытой почвы полей зимой и перенасыщенностью ее влагой в период осенних дождей. Распашка почв с легким механическим составом и продольная пахотная обработка склонов ведет к усилению плоскостного смыва, что в немалой степени способствует росту максимального стока. Одной из причин его роста в районах орошаемого земледелия служат периодические переполивов орошаемых земель.

Рост урбанизации и застройки, связанные с увеличением водонепроницаемых покрытий являются основной причиной усиления максимального стока в городах. Исследования на небольших городских водосборах в США показали, что урбанизация ведет к увеличению повторяемости и величины паводков. Установлено, что при покрытии 12% площади водонепроницаемыми материалами (бетон, асфальт) средний расход паводка составляет 17.8 м³/с, время добегания волны паводка - 3.5 ч. При 40%-ном покрытии средний расход паводка составляет 57.8 м³/с, а время добегания - 0.4 ч. Таким образом, при росте водонепроницаемых покрытий примерно в 3 раза средние расходы паводков также увеличивались в 3 раза, а время добегания паводковой волны уменьшалось примерно в 8 раз. Аналогичные исследования в других странах показали, что в результате роста урбанизации за последние десятилетия максимальные расходы паводков в городах возросли: в Канаде в 3, в Японии - 2.5, в Англии - в 1.5 раза. Установлено, что расход паводка в городе может превышать таковой же по обеспеченности расход в сельской местности до 10 раз [2].

По имеющимся прогнозам, в ближайшее время в мире будет наблюдаться рост урбанизированных территорий. В промышленно развитых государствах городские земли занимают от 8 до 15% всей территории, и тенденция развития указывает на их дальнейшее увеличение. Продолжают расти земельные площади под коммуни-

кациями и горными разработками. Убыль сельскохозяйственных земель в связи с их отчуждением для нужд промышленности, транспорта, жилищного строительства и других целей ежегодно составляет 8 млн. га. Возрастет доля сельскохозяйственных угодий, выбывающих из оборота в результате эрозии и дефляции (3 млн. га/год), опустынивания (2 млн. га/год), засоления (2 млн. га). В целом в мире ежегодно около 15 млн. га сельскохозяйственных угодий переходит в категорию "прочие земли".

Кроме уменьшения инфильтрационных свойств почв в городах за счет асфальтирования и застройки, большое значение в увеличении паводкового стока может иметь **строительство мостов и проведение некоторых видов противопаводковых мероприятий в пределах поймы**. При строительстве мостовых переходов пойма нередко полностью или частично перегораживается глухой дамбой, что приводит к значительному нарушению ее функции регулирования стока. Очень часто значительные наводнения происходили в результате недостаточной водопропускной способности подмостовых отверстий, что обычно связано с плохим прогнозным обеспечением строительства.

Условия для формирования катастрофических наводнений могут возникнуть и при частичном обваловании русел рек с целью защиты от паводков прилегающих территорий. Наиболее показательными в этом отношении являются мероприятия, осуществленные во второй половине прошлого века в Венгрии для защиты земель и построек в среднем и нижнем течении долины р. Тиссы. Для увеличения пропускной способности в период прохождения паводка были спрямлены и углублены отдельные участки реки. В результате русло р. Тиссы сократилось на 480 км. Там, где русловыправительные работы не проводились, была возведена система обвалования. Во время паводка 1879 г. углубленные и спрямленные участки русла пропустили гораздо больший объем максимального стока, чем в обычных условиях. Это привело к резкому повышению уровня воды в неуглубленных и неспрямленных участках, где пропускная способность осталась прежней. Давление воды на дамбы превысило расчетную нагрузку, что привело к их разрушению во многих местах. Прорвавшиеся воды затопили огромные территории пойменных земель. Наводнением был практически полностью разрушен г. Сегед. На основании изучения последствий данной катастрофы можно сделать следующий вывод: спрямление и дноуглубление русла на одних участках реки должно проводиться с строительством дамб обвалования на других участках поймы, подверженной периодическим наводнениям, на базе детальных расчетов и исследований на моделях.

Хозяйственное использование поймы в любом случае приводит к нарушению ее нормального функционирования и к уменьшению паводкорегулирующих свойств. Установлено, что в период прохождения паводков и половодий на пойму поступает от 35 до 60% воды. 10-12% ее испаряется с поверхности поймы и инфильтруется почвами. Уменьшение инфильтрационных свойств почв в результате застройки, снижение испарения при сведении естественной растительности, изменение режима прохождения максимального стока при гидротехническом строительстве, распашка и деградация угодий в результате неразумной хозяйственной деятельности и т.д. ведут к увеличению высоты и повторяемости наводнений. Рост хозяйственного освоения подверженных наводнениям земель, ведущий к сокращению природных пойменных ландшафтов, дает основание полагать, что если не будут приняты определенные меры, то и в дальнейшем ущербы, связанные с наводнениями на поймах рек, будут неуклонно увеличиваться.

Особый вид наводнений породило **создание водохранилищ**. Играя существенную роль в срезке пиков паводков и уменьшая катастрофические наводнения, водохранилища в некоторых случаях сами являются источником наводнений, причем нередко в тех районах, в которых их никогда не было.

В результате сооружения гидроэлектростанций на реках, замерзающих зимой, в зоне выклинивания подпора водохранилищ возможно образование ледовых заторов во время весеннего ледохода. В то время когда в хвостовой части водохранилища устанавливается ледостав, выше на речном участке еще продолжается шугоход. В зоне выклинивания подпора замерзание сопровождается уплотнением льда с заносом шуги под лед. Весной более мощный ледовый покров на этом участке разрушается медленнее, чем в русле реки, что и является причиной заторов, вызывающих значительное повышение уровня воды и затопление прилегающих территорий.

В нижних бьефах водохранилищ возможны значительные затопления при больших экстренных сбросках. Такие экстренные сброски обычно имеют место при неточном или несвоевременном прогнозе, когда водохранилище оказывается неподготовленным к принятию максимального стока, или же в результате непригодности его для аккумуляции катастрофических паводков.

Одной из причин, приводящей к возникновению наводнений, является **разрушение дамб и плотин**. Подобные катастрофы подчас наносят очень большой ущерб. Так как разрушения плотин, как правило, происходят внезапно, расходы воды могут достигать огромных величин, точно также как и скорость паводковой волны, что практически не позволяет предпринять какие-либо защитные меры и вовремя провести эвакуацию населения.

До конца XVIII в. в мире не велось систематического учета разрушений плотин и дамб, поэтому более или менее точных данных об их количестве и последствиях не имеется. Начиная с 1800 г. и по 1983 г. серьезные аварии на 60 крупных плотинах привели к гибели 16 тыс. чел. Ниже приведены примеры наиболее крупных катастроф последнего времени. В 1959 г. во Франции в результате просадок горных пород под фундаментом рухнула плотина Мальпассе, перегораживающая р. Рейран вблизи г. Фрежю. 2,5 млн. м³ воды, обрушившейся в долину, уничтожили город. Погибло более 400 чел. В 1963 г. в результате подземных толчков в районе водохранилища Вайонт, зарегулировавшего р. Пьяве (Италия), в период его заполнения на левом берегу произошел оползень объемом более 240 млн. м³ грунта. Причиной оползня послужило увеличение сейсмической активности в районе водохранилища, вызванное его заполнением. Оползень вторгся в чашу водоема и образованная им волна, переклестнув через гребень плотины, смыла города Лонгароне, Вилланова и др. Погибло 3 тыс. чел. В 1976 г. произошло разрушение плотины Болан высотой 134 м, построенной в 1960 г. в Пакистане. Образованное прорвавшимися водами водохранилище затопило 21 км² территории. Высота паводковой волны в некоторых местах достигала 15 м. Человеческих жертв данная катастрофа не принесла, однако материальный ущерб был огромен. Достаточно сказать, что разрушение плотины Болан привело к разрушению еще 10 плотин, расположенных ниже по течению. От наводнения в той или иной степени пострадало 30 тыс. чел. Трагические последствия имели место в связи с разрушением плотины Рачху II в Индии. В 1979 г. каменно-земляная плотина была размыта водами паводков. В результате погибло 200 чел.

В целом число жертв в развивающихся странах больше, чем в США и европейских государствах. Так, в 1964-1984 гг. в результате подобных катастроф в США погибли 60 чел., в европейских странах - 70 чел., в странах третьего мира, без учета жертв Рачху, число погибших достигло 500 чел. Это объясняется главным образом трудностями финансового характера, с которыми сталкиваются эти государства при обеспечении надежности строительства и эксплуатации плотин и дамб и организации спасательных работ в случае аварии.

В России чрезвычайные ситуации имели место в связи с прохождением летних экстремальных паводков на Красноярском (1988 г.) и Тирлянском (1994 г.) водохранилищах. Опасность прорыва плотин усугубляется еще и тем, что территории,

которые по проекту при пропуске редких расчетных расходов в половодья и паводки затопляются, активно самостоятельно заселяются и застраиваются. Это относится как к зонам, прилегающим к водохранилищу, так и к нижним бьефам, что особенно опасно. Примером такого заселения являются зоны нижних и верхних бьефов волжских и сибирских ГЭС на территории России.

В августе 1994 г. в Башкирии возник прорыв на плотине Тирлянского водохранилища в результате его переполнения. Летние проливные дожди, перекрывшие в 1.5-2 раза среднемесячную норму осадков, вызвали разлив малых рек, уровень в которых повысился на 1-1.5 м. Тирлянское водохранилище, расположенное в верховьях р. Белой в 40 км от г. Белорецка, приняло на себя основную массу воды из этих рек. Положение стало критическим к утру 7 августа, когда возникла угроза перелива воды через гребень плотины, так как спустить воду из водохранилища оказалось невозможно: не сработал механизм затвора, лопнули старые изношенные тросы. Жителям нижележащих поселков было предложено немедленно эвакуироваться; однако многие остались дома, не веря в серьезность опасности. Построенная в конце 40-х годов и давно неремонтировавшаяся плотина не выдержала напора воды и была смыта. Водяной поток объемом порядка 6 млн. м³ обрушился на 4 населенных пункта и устремился вниз по реке к плотине в г. Белорецке. К этому моменту из Белорецкого пруда была максимально сброшена вода, и он смог вместить весь объем воды из Тирлянского водохранилища. Водой прорыва было снесено 140 домов частного сектора, разрушены линии связи, узкоколейка между поселками Тирлян и Белорецком, автодороги, затоплены три цеха Белорецкого металлургического комбината, полностью снесены продовольственные склады, залиты водой подстанции. По данным МЧС России на 11 августа погибло 15 чел., 66 человек пропали без вести. По предварительным оценкам ущерб от стихии, без учета остановки Белорецкого металлургического комбината, составил в ценах 1994 г. 6 млрд. руб. (~ 1.3 млн. долл.), [5].

Для определения причин, приводящих к разрушению больших и малых плотин и дамб, анализу были подвергнуты около 300 аварий, произошедших в разное время в различных регионах мира. На основании этого анализа сделаны следующие выводы: 35% аварий произошло из-за малой пропускной способности водосбросных устройств, 25% - в результате суффозии, фильтрации, порового давления, современных тектонических движений, просадок, сдвигов, несовершенства противофильтрационных устройств - основных причин, приводящих к разрушению оснований плотин; 10% - из-за использования при сооружении плотин некачественных материалов или нарушения правил проведения строительных работ. Остальные 30% составляют причины, связанные с неудовлетворительной эксплуатацией гидротехнических сооружений, землетрясениями, военными действиями и другими установленными и неустановленными факторами.

Как видно из представленных выше данных, основная причина разрушения плотин связана с недостаточной пропускной способностью водосбросных отверстий. Последнее объясняется неудовлетворительным гидрологическим обоснованием проектов, занижением показателей максимальных расходов воды, которые принимаются в основу расчета водосбросных отверстий. В таких случаях не обеспечивается пропуск половодий и паводков редкой повторяемости, что приводит к переполнению водохранилищ, снижению несущей способности основания, размыву тел плотин и к их разрушению.

По мнению западных исследователей, из этого не следует, что необходимо уменьшать масштабы противопаводкового гидростроительства. Ущерб и человеческие жертвы, связанные с разрушением дамб и плотин, неизмеримо меньше, чем от наводнений, вызываемых естественными причинами, других стихийных бедствий или же некоторых видов антропогенной деятельности. Так, ежегодно в мире при

прохождении тропических циклонов, в результате наводнений и ураганов на побережьях морей и океанов и в речных долинах погибает 250 тыс. чел. Это почти в 14 раз больше, чем число погибших за 200 лет при авариях плотин.

Особые проблемы возникают **в долинах тех рек, русла которых ограждены дамбами**, и дно которых возвышается на несколько метров над поймами и надпойменными террасами. На протяжении веков в Китае наиболее традиционным способом защиты от наводнений было строительство дамб обвалования. В настоящее время их общая длина составляет 170 тыс. км. Только вдоль берегов р. Хуанхэ построено около 5 тыс. км дамб. Однако такой способ защиты не слишком надежен, особенно на реках, протекающих в пределах Лёссового плато в центральных районах Китая. Дело в том, что лёссы, из которых сложено плато, - очень легко разрушаемый материал, поэтому реки, в частности р. Хуанхэ, несут огромное количество наносов. При обваловании процесс накопления осадков в русле убыстряется, глубина реки уменьшается и соответственно падает пропускная способность русел. Вновь и вновь приходилось наращивать высоту дамб, однако процесс поднятия дна реки продолжался. В результате дно р. Хуанхэ в нижнем течении оказалось выше окружающей местности на 6-7 метров.

В последнее время все больше внимание уделяется влиянию **изменения климата** на гидрологические процессы. Эти изменения влияют в частности на учащение катастрофических наводнений.

До середины XX в. колебания климата сравнительно мало зависели от человека и его хозяйственной деятельности. За последние десятилетия это положение довольно резко изменилось. В результате антропогенной деятельности человека неуклонно увеличивается количество углекислого газа (CO_2) в атмосфере, что приводит к усилению парникового эффекта и способствует повышению температуры воздуха у земной поверхности [12].

Изменение средней температуры воздуха непосредственно связано с изменением площади снежного и ледяного покровов (морские полярные льды, сезонный снежный покров континентов, ледники и континентальные оледенения Антарктиды и Гренландии). Режим льдов зависит от прихода солнечной радиации, температуры воздуха в теплое и холодное время года. По расчетам специалистов таяние арктических морских льдов произойдет при повышении средней температуры воздуха в Северном полушарии примерно на 2°C .

Климатические изменения влияют на режим осадков. Потепление приводит к увеличению испарения с поверхности океанов и, следовательно, к росту количества осадков, выпадающих на земную поверхность. Расчеты по специальным моделям теории климата показывают, что возрастание массы CO_2 в атмосфере увеличивает суммарную величину испарения и осадков.

Изменение климата неминуемо сказывается и на уровне мирового океана. Высказываются предположения, что западная часть Антарктического ледяного щита неустойчива и может разрушиться (при быстром потеплении) в течение нескольких десятилетий, что может привести к повышению уровня океана примерно на 5 м и к затоплению значительных участков земной поверхности.

Согласно оценкам экспертов, среднеглобальная приземная температура воздуха (ПТВ) увеличилась за XX в. на $0.3-0.6^{\circ}\text{C}$, а уровень мирового океана поднялся на несколько сантиметров. Предполагается, что к середине либо к концу наступившего столетия при удвоении концентрации CO_2 в атмосфере среднегодовая среднеглобальная температура воздуха (ПТВ) может составить $1.5-4.5^{\circ}\text{C}$. Однако, как указывает академик К.Я. Кондратьев, «неадекватное понимание закономерностей климата определяет наличие многих неопределенностей прогнозов его возможных из-

менений в будущем с точки зрения величины, времени и регионального пространственного распределения изменений климата» [8].

Являясь неотъемлемой частью природы, человек в процессе материального производства, все больше и больше воздействует на окружающую его природу. Вырубая леса, распахивая земли, сооружая города, дороги, предприятия, строя самые разнообразные гидротехнические сооружения, человек очень часто серьезно нарушает естественный гидрологический режим рек и стокорегулирующие свойства водосборов, что приводит как к усилению наводнений, так и к возникновению их там, где их прежде не было. Таким образом, с одной стороны, люди предпринимают массу усилий для борьбы с наводнениями, а с другой - своими действиями ведут к их усилению.

Недостаточная проработанность ряда положений, связанных с прогнозом наводнений, подсчетом причиняемого ими ущерба, свидетельствуют о необходимости дальнейшего углубления и расширения работ в этой области, в особенности учитывая то обстоятельство, что частота, размеры и ущербы, причиняемые наводнениями в перспективе неизбежно будут расти.

Литература

1. Авакян. А.Б., Полюшкин А.А. Наводнения. Сер. «Науки о Земле». М.: Знание. 1989. № 7. 48 с.
2. Авакян А.Б., Полюшкин А.А. Наводнения и защита от них // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. М.: ВИНТИ. 1990. Выпуск 9. С. 76-111.
3. Авсюк Г.А., Синотин В.И. О борьбе с заторами и зажорами льда. Тр. координационных совещаний по гидротехнике (ВНИИГ). 1970. Вып. 56. С. 3-12.
4. Баланин В.В. Регулирование процессов заторообразования и методы борьбы с заторами льда. Тр. координационных совещаний по гидротехнике (ВНИИГ). 1970. Вып. 56. С. 25-35.
5. Барабанова Е.А. Причины повреждения плотин гидроузлов как фактор риска и их последствия для населения // Известия АН, серия географическая. 1994. № 6. С. 61-67.
6. Донченко Р.В., Щеголева Е.В., Коробко А.С. Закономерности формирования и распространения заторов льда на реках СССР. Тр. ГГИ. 1982. Вып. 287. С. 3-15.
7. Донченко Р.В., Щеголева Е.В. Закономерности образования и распространения зажоров на реках СССР. Тр. ГГИ. 1985. Вып. 309. С. 3-15.
8. Кондратьев К.Я., Донченко В.К. Экодинамика и геополитика. 1. Глобальные проблемы (Кондратьев К.Я.). С.-Петербург. 1999. Т. 1. Спб. 1032 с.
9. Нежиховский Р.А. Наводнения на реках и озерах. Л.: Гидрометеиздат. 1988. 183 с.
10. Раткович Д.Я., Раткович Л.Д. Типы наводнений и пути сокращения наносимых ими ущербов // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 3. С. 261-266.
11. Руднев А.С. Опыт борьбы с заторами льда на Лене. Тр. координационных совещаний по гидротехнике (ВНИИГ). 1970. Вып. 56. С. 3-12.
12. Северский И.В. Достоверность долговременных климатических характеристик // Известия АН, Серия географическая. 1999. №4. С. 22-28.
13. Сообщения пресс-службы МЧС России. Справки Министерства РФ по делам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям, и ликвидации последствий стихийных бедствий. <http://www.emercom.gov.ru>
14. Yongqiang Zong, Xiqing Chen. The 1998 Flood on the Yangtze, China // Natural Hazards. 2000. № 22. P. 165-184.