

УДК 556.535.2

НАВОДНЕНИЯ НА РЕКАХ СЕВЕРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА Р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА)¹

© 2011 г. П.Н. Терский, Н.Л. Фролова

МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет

Поступила в редакцию 26.03 2010 г.

Формирование наводнений (часто катастрофических) на реках бассейна Северной Двины связано с особенностями географического положения и формирования стока рек. Для оценки опасности наводнений и разработки расчетных и прогнозных методик изучены пространственно-временные закономерности формирования максимальных уровней воды – важнейшей характеристики, определяющей гидрологическую и экологическую безопасность населения, хозяйства и биocenозов речных долин. Исследованы особенности затопления речных долин, дана оценка повторяемости и риска наводнений.

Введение. В целом в России во время наводнений различной повторяемости затопляется территория пойм рек (озер) общей площадью порядка 40 млн. га. В зоне затопления находится более 300 городов, десятки тысяч средних и небольших населенных пунктов с населением около 5 млн. человек, сотни тысяч хозяйственных объектов различных отраслей экономики, более 7 млн. га сельскохозяйственных угодий. За последние десятилетия в России, как и во всем мире, несмотря на проведение защитных противопаводковых мероприятий, потери от наводнений имеют устойчивую тенденцию к росту. Это происходит из-за прогрессирующего снижения аккумулирующей способности водосборов в результате сведения лесов, осушения болот, стеснения пойм инженерными сооружениями, заиливания русел; интенсивного и часто нерационального использования паводкоопасных территорий; ухудшения качества и достоверности прогнозов из-за сокращения сети наблюдательных гидрометрических и гидрометеорологических постов (более чем на 44%); аварий на гидротехнических сооружениях; резкого сокращения объемов финансирования предупредительных противопаводковых мероприятий, строительства и эксплуатации защитных сооружений [9]. К сожалению, в настоящее время нет правил, регламентирующих учет, сбор и хранение

информации о наводнениях, происходивших в различных регионах, нет единой системы оценки ущерба. Единственные источники систематизации и накопления материалов по ущербу от наводнений – это данные местных организаций: паводковых комиссий, страховых ведомственных и др. [19].

Общие сведения о наводнениях. В понятие “наводнение” вкладывается различный смысл, при этом наиболее известные точки зрения можно разделить на две группы. К первой относятся формулировки, в которых под наводнением подразумевается стихийный процесс, выражающийся в затоплении суши в результате подъема уровня воды: “...повторяющееся непродолжительное или сезонное затопление участков суши водами из любых источников благодаря действию различных сил и под влиянием различных факторов” [15]. Несколько иная интерпретация понятия “наводнение” дана в гидрологическом словаре А.И. Чеботарева [20], где оно определяется как “затопление водой местности в пределах речной долины и населенных пунктов, расположенных выше ежегодно затопляемой поймы”.

Ко второй группе относятся определения, в которых под наводнением понимается затопление водой используемых человеком земель, в результате чего причиняется ущерб. В отечественных публикациях многие исследователи придерживаются определения Р.А. Нежиховского: “Под наводнением понимается затопление водой прилегающей к реке или озеру местности, которое

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 09-05-00339; 09-05-00041), ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновационной России” (государственный контракт № 02.740.11.0336 и проект № П164).

причиняет материальный ущерб, наносит урон здоровью или приводит к гибели людей. Затопление же водой местности, не сопровождающееся ущербом, есть разлив реки или озера" [16], т.е. наводнение рассматривается как социально-экономическое бедствие наряду с его природным происхождением.

Среди классификаций наводнений отметим следующие.

1. *Классификации наводнений по генезису* [1, 10, 16], в основе которых лежит деление наводнений на две группы: 1) на реках и озерах, 2) на побережьях морей океанов, каждая из которых делится, в свою очередь, на три подгруппы:

- природные: паводки, половодья, заторные и зажорные наводнения, паводки прорывов озер, нагонные наводнения;

- природно-антропогенные, вызванные быстрым наполнением водохранилищ до критических отметок и повышенным сбросом воды в нижний бьеф гидроузлов, прорывом дамб и плотин, стеснением живого сечения русла реки и повышенными попусками воды из водохранилищ;

- антропогенные: прорыв плотин и дамб, затопления в результате уменьшения пропускной способности русла и поймы реки в зоне выклинивания подпора от плотин на реках с повышенным твердым стоком, образование заторов и зажоров в зоне выклинивания подпора водохранилищ из-за повышенных попусков в нижних бьефах гидроузлов в периоды формирования или разрушения ледяного покрова, стеснения живого сечения реки дамбами обвалования, недостаточной водопропускной способности подмостовых отверстий, проведения русловыправительных работ и т.д.

2. *Классификации наводнений по размерам и по наносимому ими суммарному ущербу* [11, 15]. Согласно одной из них, можно различать *небольшие, большие, выдающиеся и катастрофические* наводнения [11]. Небольшие наводнения имеют локальный характер, почти не влияют на жизнь людей, имеют высокую повторяемость. Катастрофические наводнения приводят к человеческим жертвам, наносят значительный материальный ущерб, могут охватывать несколько речных долин, имеют редкую повторяемость.

Основные природные параметры крупных наводнений: количество и частота наводнений; площадь территорий, непосредственно подвергшихся затоплениям; продолжительность наводнений. Среди факторов, определяющих ущерб от наводнений, можно выделить следующие [17]: максимальный уровень воды, время стояния кри-

тических уровней, скорость нарастания уровней, частота повторений, сроки наступления, характер использования земель, состояние служб прогноза и оповещения, эффективность спасательных мероприятий.

Наводнения в бассейне Северной Двины.

Один из населенных районов, где наводнения наносят серьезный ущерб населению, – север Европейской территории России. Один из крупнейших бассейнов рек европейского севера – бассейн Северной Двины. На протяжении многих веков Северная Двина служила главной водной дорогой из центральной части Русского государства в северный край и в Европу. И в настоящее время реки бассейна Северной Двины используются для судоходства и сплава леса. Водозабор из рек и озер и использование их энергетического потенциала незначительны. Длительное время (40–50 лет назад) малые реки служили транспортной сетью для молевого сплава, с которым связаны такие проблемы, как разрушение берегов в бассейне, затонувшая древесина и захламленные прибрежные полосы. Большая часть территории бассейна расположена в Архангельской области, которая обладает развитой рыбной, лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленностью, а также машиностроением. Основная часть жилых, сельскохозяйственных и производственных построек и сооружений региона находится в пределах речных долин.

Уровенный режим рек бассейна Северной Двины, определяющий опасность наводнений, характеризуется хорошо выраженным подъемом уровней в половодье и низкими уровнями в период летней межени. Превышение критических отметок уровня воды не только приводит к затоплению населенных пунктов и хозяйственных объектов, но и создает угрозу повреждения судов в затонах, мешает лесосплаву. Затоплению сильно подвержены города Вологда, Великий Устюг, Котлас, Архангельск, Сыктывкар. До проведения берегоукрепительных работ (середина 1960-х годов) прибрежная часть г. Вологды, прилегающая к р. Вологда, часто подвергалась периодическим затоплениям и подтоплениям. Возле г. Котласа заторы льда (причина наводнений) возникают каждые три весны из четырех. За 100 лет наблюдений, начиная с 1881 г., самыми высокими в районе Котласа были половодья в 1914 и 1974 гг. Во время последнего из них уровень воды в реке поднимался над меженным на 7 м 67 см [13]. Самые высокие половодья за более чем 50-летний период наблюдений, начиная с 1924 г., были отмечены в районе г. Сыктывкара в 1957 и 1974 гг. Расход воды в реке весной 1974 г. достиг 6710 м³/с,

превысив среднее годовое значение в 11 раз, при этом уровень воды в реке поднимался над меженным более чем на 6 м. Но больше всех подвержена воздействию весенних половодий территория Великоустюгского района и особенно г. Великий Устюг, который на протяжении многих веков пережил ряд катастрофических наводнений, изменявших русло реки и окружающий ландшафт. В 1761 г. вода, поднимавшаяся из-за затора льда, хлынула через Великий Устюг потоком, размыв мягкие породы берега и образовав в черте города озеро, существующее до настоящего времени [7]. Одно из наиболее крупных наводнений XX в. в районе слияния рек Сухоны и Юга, повлекшее затопление значительной части территории г. Великого Устюга, произошло в 1998 г. и сопровождалось большим экономическим и экологическим ущербом. В целом же за XVIII–XIX вв. Великий Устюг пережил восемь катастрофических наводнений. В XX в. город испытал воздействие 21 крупного наводнения.

В г. Архангельск в XIX в. наиболее высокие наводнения отмечены в 1808, 1811, 1843, 1858 и 1881 гг. Более разрушительным было наводнение 1881 г., когда уровень воды в реке поднялся более чем на 6.5 м и оставался высоким в течение шести суток. В 1843 г. подъем воды был ниже, но навалы льда, оставшиеся по берегам после наводнения, превышали местами 10 м. В XX в. таких сильных, катастрофических наводнений, как в XVIII и XIX вв., в Архангельске не было. Но в 1929, 1946, 1947, 1953, 1957 и 1961 гг. в ряде районов улицы города заливались водой. В настоящее время ледоколы задолго до начала ледохода расчищают рукава дельты, спуская лед в море, а новые места застройки поднимаются подсыпкой из песка на 1.5 м и выше. Конечно, эти профилактические меры не гарантируют городу полной безопасности, но вероятность возникновения наводнений снизилась [13].

Общая постановка проблемы. Цель настоящей работы – изучение причин и особенностей наводнений на реках бассейна Северной Двины, оценка риска затопления речных долин на основе изучения механизма формирования максимальных уровней воды.

При подготовке работы использованы данные наблюдений за уровнем и расходом воды на 70 гидрологических постах, опубликованные в изданиях серии “Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод”, в сети Интернет и полученные в местных отделениях УГМС, обобщенные данные о физико-географических условиях, речной сети, водосборах и гидрологи-

ческих постах, опубликованные в изданиях Государственного водного кадастра.

Объект исследования в данной работе – реки бассейна Северной Двины, интенсивно используемые для судоходства, сплава леса, промышленного и коммунального водоснабжения. Особенности географического положения и формирования стока рек бассейна Северной Двины создают предпосылки формирования наводнений, часто катастрофических. Предмет исследования – закономерности формирования максимальных годовых уровней воды, их временная и пространственная изменчивость, особенности затопления речных долин.

Уровень воды H – основная характеристика водного режима, определяющая безопасность населения и хозяйства на освоенных участках речных долин. Знание режима уровня воды как высотной отметки позволяет оценивать частоту, глубину и площадь затопления частей речных долин. Она испытывает большую пространственно-временную изменчивость вследствие комплексного воздействия разных факторов на наполнение русла реки водой. На произвольном участке реки уровень воды – $H = H(x, y, z, t)$, где x, y, z – соответственно продольная, поперечная и местная координаты, t – время. Перемещение воды от истока к устью реки сопровождается закономерным снижением осредненной по ширине потока отметки поверхности воды в зависимости от координаты x . Изменение уровней воды по ширине водотока характеризует координата y . Оно связано с деформациями свободной поверхности воды под влиянием поперечных течений на поворотах русла, ветровых нагонов. Координата z дает представление об изменении высоты расположения поверхности воды в конкретной точке русла реки. Она отражает влияние на уровень воды крупных форм руслового рельефа, островов, вызывающих продольное и поперечное изменение этой характеристики. Кроме того, она учитывает изменение уровня, вызванное изменением гидравлического состояния потока, эволюцией вихревых турбулентных образований. Отметка свободной поверхности в конкретной точке поперечного сечения русла реки i и в момент времени t отражает ее положение относительно отметки поверхности дна ξ и плоскости сравнения $\psi = \psi(x)$. Разность $\Delta = \xi - \psi$ характеризует превышение средней отметки поверхности дна на конкретном участке реки над условной плоскостью сравнения. Поскольку $H(x, y, z, t) - \xi(x, y, z, t) = h(x, y, z, t)$, где h – глубина потока, уровни воды на любом участке реки зависят от факторов, влияющих на изменчивость отметок ξ и глубины потока h [3–5].

Рассматривая максимальные уровни воды, необходимо отметить, что в момент наступления максимума изменение уровня воды отражает их совместное воздействие [3–5], т.е.

$$\Delta H = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \dots + \Delta H_n, \quad (1)$$

где $\Delta H_1, \Delta H_2, \dots, \Delta H_n$ – изменение вклада i -го процесса в наполнение русла водой по сравнению с начальным моментом времени. На территории бассейна Северной Двины формирование максимальных уровней воды в основном связано с таянием снега, или они имеют подпорное происхождение (либо затор, либо подпор притока главной рекой). Формирование заторов сопровождается повышением уровня воды на участках рек при постоянном расходе воды Q . Ежегодные заторные явления на рр. Малая Северная Двина и Сухона (продолжительностью 1–10 дней) вызывают повышение уровня воды, составляющее от 0 до $0.54\Delta H$ в зависимости от стокового изменения уровня воды, мощности и местоположения головной части затора. Заторные максимумы уровней часто совпадают во времени с максимумами весеннего половодья, что значительно увеличивает суммарный подъем уровней воды ΔH . Например, в узле слияния Сухоны и Юга весенний подъем уровней воды за счет стоковой составляющей может достигать 7 м, а вклад заторов в повышение уровней воды в районе г. Великий Устюг колеблется от 0 до 3.5 м [3]. Подпорное взаимодействие Сухоны и Юга также имеет существенное значение для уровенного режима на устьевом участке Сухоны. Оно возникает при более позднем половодье на р. Юг. Это обуславливает асинхронность воздействия всех механизмов на наполнение русла водой. На участке Сухоны непосредственно выше слияния с Югом вклад подпора в общее повышение уровня воды при прохождении волн половодья или паводков может составлять до 30% от общего изменения отметок водной поверхности и достигать 1.3 м [13]. Подобная ситуация характерна и для других устьевых участков рек.

Изменение максимальных уровней воды за многолетний период также обусловлено большей частью колебаниями водности рек, формированием заторов льда и русловыми деформациями.

Статистический анализ многолетних рядов максимальных годовых уровней воды рек бассейна Северной Двины проведен для 39 пунктов наблюдений с продолжительностью рядов 50 лет и более до 2009 г. включительно. Из них 29 постов имеют ряд наблюдений длиной более 70 лет. В целях выяснения наличия у исследуемых рядов монотонного (возрастающего или убывающего) тренда использован непараметрический крите-

рий тренда Спирмена, оценка однородности проводилась также с помощью критериев Стьюдента и Фишера. На фоне отмечаемых климатических изменений статистически значимый (положительный) тренд максимальных уровней воды отмечен только на 6 постах. Рост максимальных уровней как в современный период (после 1970 г.), так и за весь период наблюдений отмечен на постах Сольвычегодск, Помоздино и Межог (р. Вычегда), Рабанга (р. Сухона), а также после 1970 г. на постах Кулогоры и Кузомень (р. Пинега). На остальных исследованных постах бассейна статистически значимых трендов не отмечено. Несмотря на то что многими исследователями отмечается незначительное увеличение стока северных рек [2], увеличение максимальных уровней за последние 30 лет в целом незаметно (в основном за счет уменьшения объемов половодья).

В результате анализа корреляционной матрицы рядов максимальных годовых уровней воды (для 39 постов с рядами наблюдений 50 лет, включая современный период) выделены районы с синхронными (с парными коэффициентами корреляции внутри района более 0.7) колебаниями максимального уровня воды на постах. Первый район включает р. Пинега, второй – рр. Кубену и Вологду, верхнее течение р. Сухона, третий – рр. Сысола и Луза, верхнее течение р. Вычегда, четвертый – Северную Двину. В четвертый район включены также посты, колебания уровней на которых не синхронны ни с одним рядом – на г/п Усть-Пинега, Звоз (р. Северная Двина), Великий Устюг, Рабанга, Березовая Слободка (Сухона), Гаврино (р. Юг), Филяевская, Шенкурск (р. Вага) и Межог (р. Вычегда). Многолетний характер колебаний максимальных уровней определяется для них не столько прохождением высокой волны половодья, сколько локальными факторами.

Зависимости характеристик наводнений от морфометрических характеристик водосборов и долин рек. Одна из важных характеристик колебаний максимальных уровней воды и возможного затопления территории – величина его размаха, т.е. разность максимального и минимального суточного уровней воды за весь период наблюдений ($A = H_{\text{макс}} - H_{\text{мин}}$). С ростом площади водосбора реки закономерно возрастает и величина A . Однако для створов на больших реках бассейна связь менее тесная, чем в случае средних рек. В целом по бассейну коэффициент корреляции составляет 0.59.

Размах колебаний уровней воды на реках определяется двумя факторами: водностью реки и морфометрическими характеристиками ее доли-

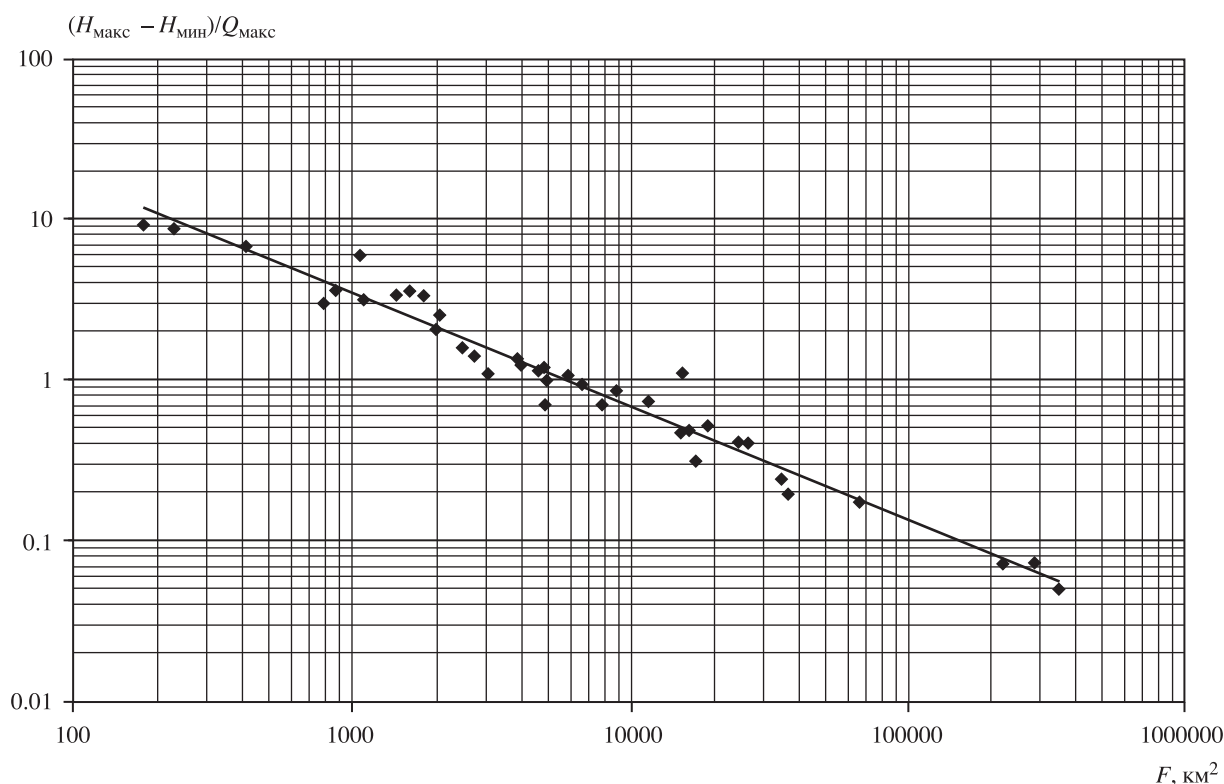


Рис. 1. Связь размаха колебаний уровня воды $A = H_{\text{макс}} - H_{\text{мин}}$, нормированного на максимальный расход воды $Q_{\text{макс}}$, с площадью водосбора F (км²) для рек бассейна Северной Двины

ны (рис. 1). Значительные колебания уровня воды при небольших максимальных расходах воды характерны только для небольших рек, а значит, обусловлены характером долины (например, р. Емца в районе г. Емецк с врезанным руслом и высокими крутыми берегами). И наоборот, для крупных рек с очень высокими максимальными расходами воды и значительной площадью водосбора характерны свои определенные пределы колебаний уровня воды.

На рис. 2 показана карта пространственной изменчивости размаха колебаний уровней воды для рек бассейна. Величина A максимальна (более 9 м), как правило, для крупных рек (Северная Двина, Сухона), однако также отмечены значительные колебания уровня воды на р. Вымь (г/п Весляна и г/п Половники) – здесь высокие подъемы уровня воды обусловлены морфометрическими особенностями долины (долина неширокая, крутые высокие берега). Подъем уровней воды значителен также в нижнем течении рек Емца и Пинега, впадающих в Северную Двину. При этом из-за высоких бортов долин на немногочисленной р. Вымь высокие подъемы уровня воды не приводят к наводнениям. Возможность серьезных наводнений, связанных со значительным колебанием уровня воды, следует рассматривать именно

на многоводных крупных реках, а также в узлах слияния этих рек.

Другая важная характеристика, необходимая для оценки ущерба от наводнений, – глубина затопления поймы. Максимальная глубина затопления поймы (ΔH) определяется как разность максимального наблюдавшегося уровня воды ($H_{\text{макс}}$) и уровня выхода воды на пойму ($H_{\text{п}}$) для каждого поста $\Delta H = H_{\text{макс}} - H_{\text{п}}$.

Карта распределения максимальной глубины затопления поймы по территории бассейна приведена на рис. 3. Градации глубины затопления были выбраны с учетом классификации опасности наводнений по слою затопления поймы [17]. Наибольшие глубины затопления поймы наблюдаются в пунктах Кузомень (р. Пинега) – 651 см, Звон (р. Северная Двина) – 554 см, Усть-Пинега (р. Северная Двина) – 632 см, Шиладор (р. Пожар) – 558 см, Лунь (р. Вишера) – 421 см. В целом в верховьях бассейна глубина затопления поймы меньше, чем в нижнем течении. Это связано с размерами водотоков, в том числе с их водностью.

Однако при выходе в пределы низменных приморских равнин русла крупных рек начинают интенсивнее меандрировать, что создает благоприятные

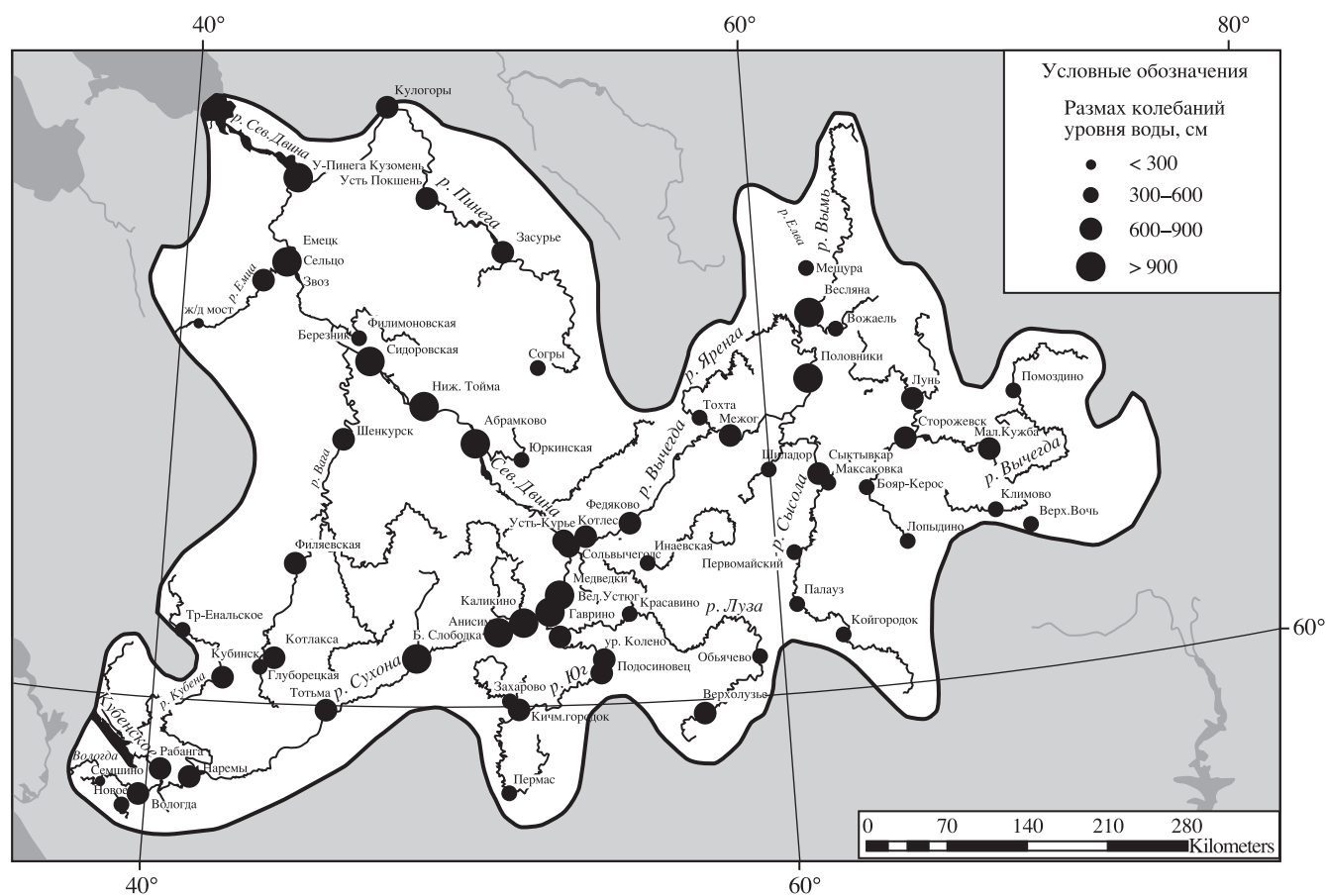


Рис. 2. Карта-схема размаха колебаний уровня воды $A = H_{\max} - H_{\min}$ на реках бассейна Северной Двины. Условные обозначения. Размах колебаний воды, см.
 • < 300 • 300–600 • 600–900 • > 900

ятные условия для заторообразования, особенно с учетом того, что низовья рек располагаются севернее, чем верховья, и вскрытие начинается позже. На отдельных участках наблюдаются очень высокие значения глубины затопления поймы как в нижней, так и в верхней части бассейна. Это связано с аazonальными особенностями рек, такими как морфометрические характеристики русел, а также местными условиями заторообразования. На постах Тотма, Лушь, Шиладор, Звоз, Усть-Курье, Березник, Медведки, Усть-Пинега наблюдалась максимальная глубина затопления поймы. В районах некоторых постов пойма отсутствует, поэтому глубина затопления была рассчитана как разница максимального уровня и уровня, при котором наносится ущерб сельскому хозяйству (р. Северная Двина – Усть-Пинега, $\Delta H = 632$ см).

По данным описания гидрологических постов в гидрологических ежегодниках была построена зависимость ΔH от ширины поймы. Связь получилась достаточно слабая, несмотря на то, что обе характеристики напрямую связаны с особенностями морфометрии долин. Возможно, это объ-

ясняется неточными сведениями о ширине поймы или большой изменчивостью ширины поймы по длине реки, поскольку информация о ширине поймы приведена только для участков постов. При прочих равных условиях с увеличением расхода воды растет ΔH , а с ростом ширины поймы ΔH уменьшается.

Величина ΔH незначительно зависит от площади водосбора. Скорее всего она в значительной степени определяется индивидуальными для каждой реки особенностями морфометрии речной долины и водосбора. Теснота связи (коэффициент корреляции 0.4) ниже, чем для зависимости размаха колебаний уровня воды A с площадью водосбора.

Подъем уровня воды в реке, вызванный затором, – это аazonальная характеристика, поскольку существенно зависит от размера водотока и морфометрии речной долины. Наиболее значительные подъемы уровня воды и высокая повторяемость заторов характерны именно для северных рек из-за высокой прочности ледяного покрова, интенсивного снеготаяния и больших расходов

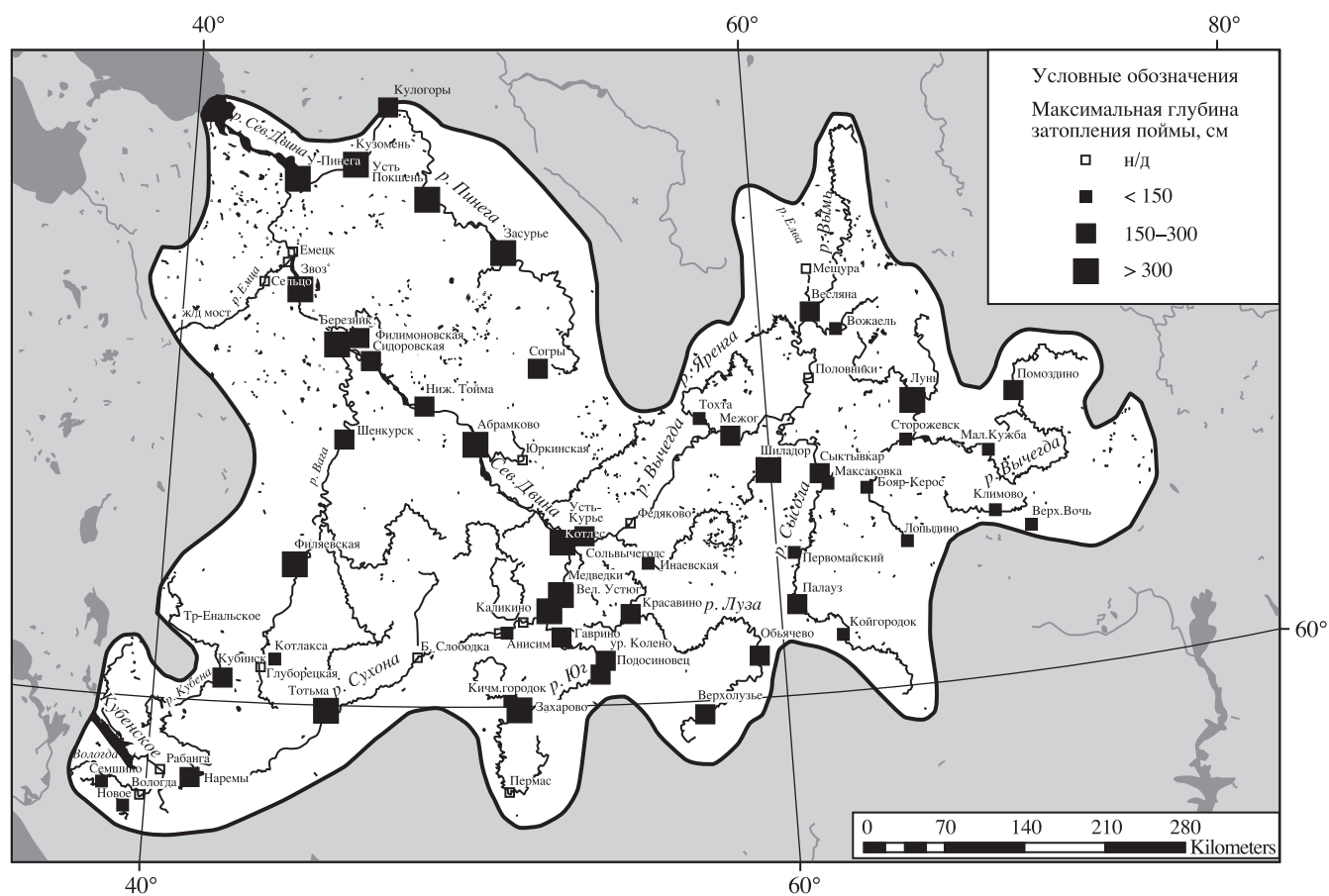


Рис. 3. Карта-схема максимальной глубины затопления поймы $\Delta H = H_{\text{макс}} - H_{\text{п}}$ (см) на участках постов бассейна Северной Двины. Условные обозначения. Максимальная глубина затопления поймы, см.
 □ н/д ■ < 150 ■ 150–300 ■ 300

воды в половодье. На территории бассейна Северной Двины для анализируемых створов максимальный уровень вызван заторами в 43% случаев. Наибольшая повторяемость заторов наблюдается при слиянии Сухоны и Юга, а также при впадении Вычегды в Северную Двину. Однако повторяемость заторов при слиянии Пинеги и Северной Двины невысока. Это обусловлено одновременностью прохождения половодья на этих реках, вскрытие устьевой области Северной Двины происходит в основном в результате прохождения первой волны половодья с р. Сухоны [8]. Пост Усть-Пинега на Северной Двине расположен на заболоченной равнине. Ниже по течению расположено Холмогоровское разветвление – место, где регулярно формируются заторы льда.

Оценка опасности наводнений. Опасность наводнения – это угроза людям и всему, что представляет для них ценность. Потенциальная опасность наводнения определяется степенью неожиданности. Вероятность наводнения прежде всего зависит от повторяемости выхода воды на пойму и глубины затопления поймы. При низкой

пойме и мощных заторах наводнения возможны ежегодно. Половина территории бассейна Северной Двины затопляется более чем на 1.5 м, а 20% территории – на 3 м и выше.

На графике связи глубины затопления поймы и повторяемости наводнений при максимальных уровнях (рис. 4) можно выделить несколько зон [6]. Это позволяет оценить потенциальную опасность и возможный ущерб от наводнений.

В основе этого деления – методика В.А. Бузина [6], которая была модифицирована для изучаемого региона. В данном случае принимается, что опасность наводнения возрастает при меньшей повторяемости наводнений из-за степени их неожиданности. В качестве характерных точек на графике были выбраны точки, соответствующие 50% повторяемости по оси абсцисс и $\Delta H = 150$ и 300 см. Граничные значения для $\Delta H = 150$ и 300 см были получены из комплексного анализа различных классификаций, в частности классификации опасности наводнений в районах по слою затопления поймы [17].

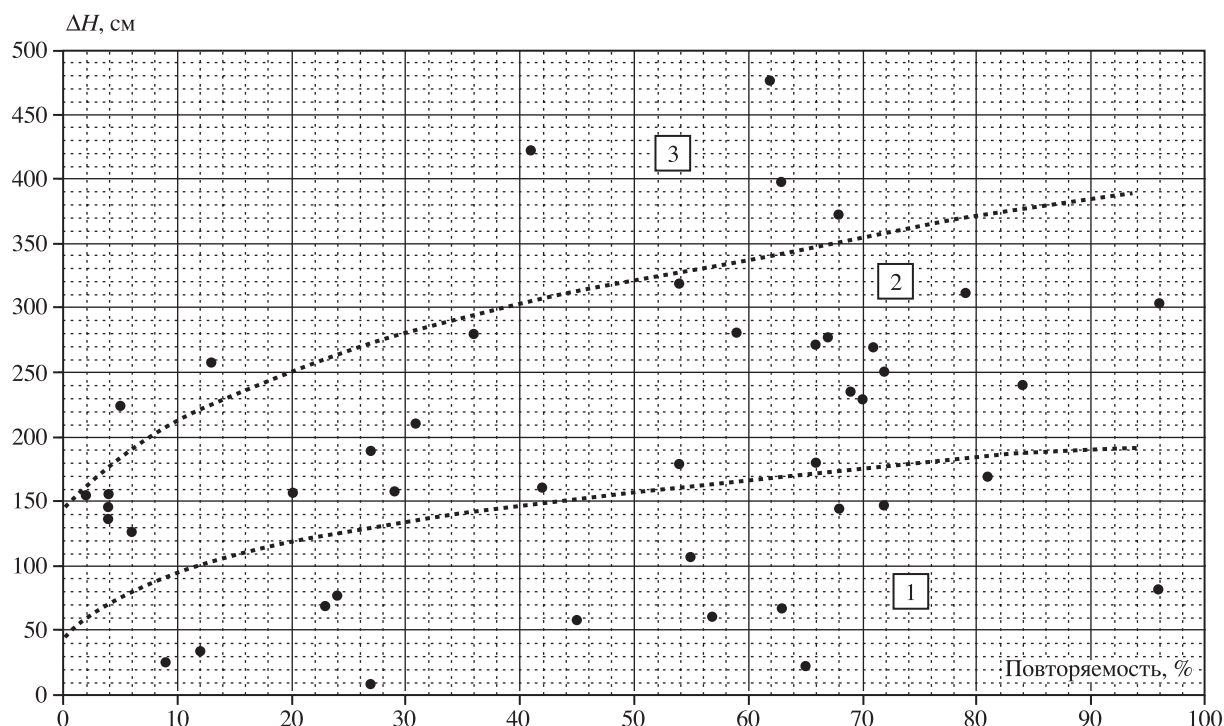


Рис. 4. Зависимость глубины затопления поймы $\Delta H = H_{\text{макс}} - H_{\text{п}}$ (см) от повторяемости выхода воды на пойму (%)

Таким образом, были получены три характерные зоны на графике: 1 – неопасные наводнения, 2 – опасные наводнения, 3 – катастрофические наводнения.

Количественной мерой потенциальной опасности является величина

$$D = (H_{1\%} - H_{\text{п}})(1 - p), \quad (2)$$

где $H_{1\%}$ – расчетный уровень 1%-ной обеспеченности, $H_{\text{п}}$ – уровень выхода воды на пойму, p – повторяемость выхода воды на пойму, выраженная в долях единицы. На территории бассейна опасность наводнения, которая непосредственно связана с глубиной затопления поймы и с повторяемостью наводнений, распределена аналогично: в верховьях в целом опасность меньше, чем в северной нижней части бассейна (рис. 5).

С учетом плотности населения и других социально-экономических показателей с помощью этой характеристики можно рассчитать величину потенциальной опасности и возможный ущерб от наводнения.

Моделирование процессов затопления освоенной местности. Для снижения ущербов при наводнениях необходимы, в частности, надежные данные долгосрочных и краткосрочных прогнозов гидрологического и ледового режима основной реки и ее притоков, а также оперативная информация о границах, площади, глубине и продол-

жительности затопления освоенной территории. Эти сведения обеспечивает система гидрометеорологического мониторинга, использование комплекса методов расчетов и прогнозов. Существующая разреженная сеть мониторинга не позволяет получить общую картину наводнения в бассейне реки, что затрудняет принятие мер по предупреждению или сокращению соответствующего ущерба. Частичное решение проблемы связано с использованием данных аэро- или космической съемки. По ее результатам можно получить картину затопления в реальном масштабе времени для значительных территорий, подвергшихся затоплению. Однако эти возможности до сих пор используются для отдельных, наиболее ответственных участков рек.

Второй путь оценки пространственных и временных масштабов развития процесса затопления освоенной территории связан с применением методов математического моделирования и гидрологического прогнозирования этого процесса. При этом важнейшими задачами являются прогнозы вскрытия рек, прогнозы гидрографов половодья, максимальных уровней и их генезиса, а также расчет параметров зон затопления. Для этого применяются гидрологические модели формирования стока на водосборах и методы гидравлического моделирования трансформации паводочных волн в руслах рек, соответствующих уровней воды.

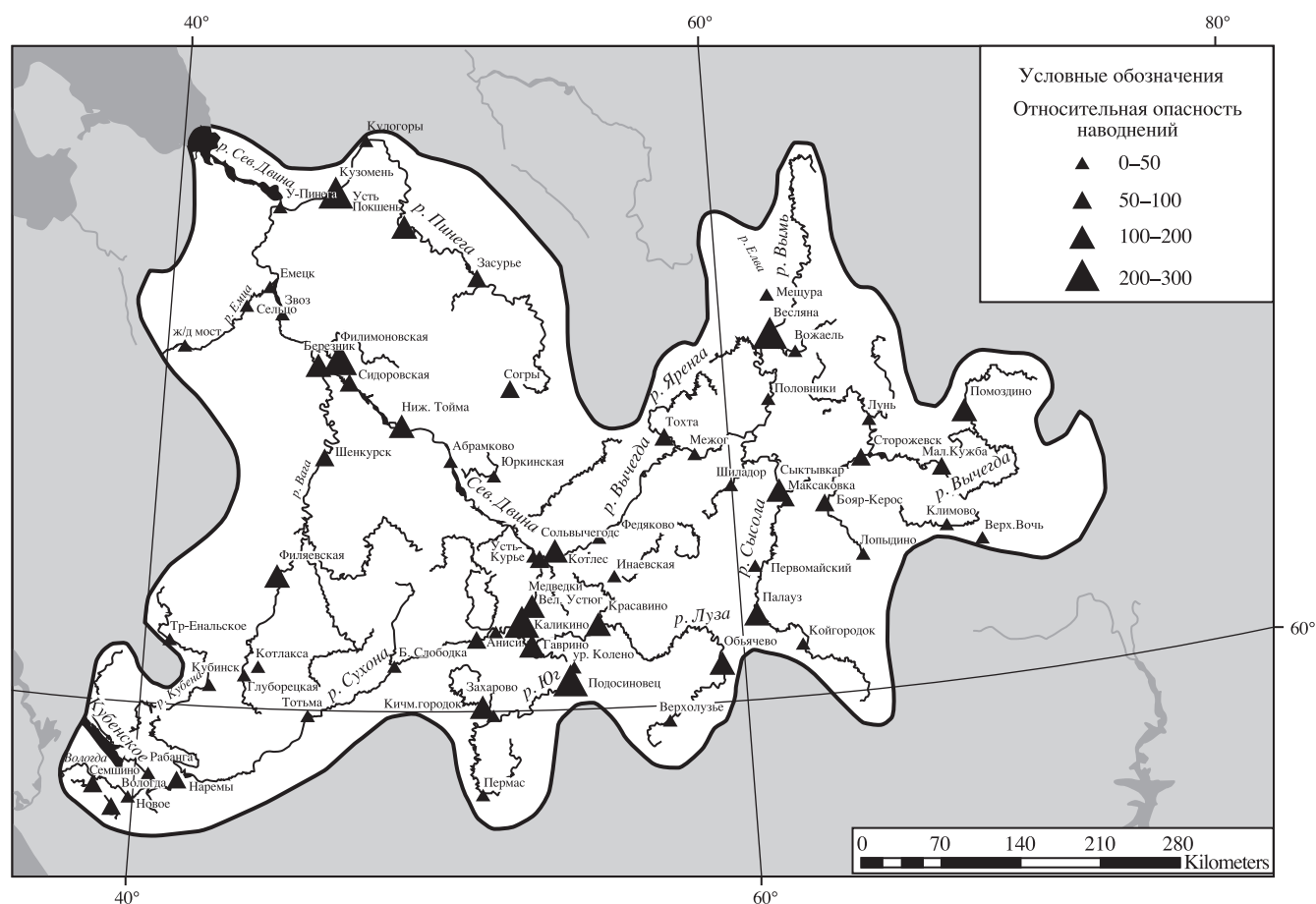


Рис. 5. Карта относительной опасности наводнений в бассейне Северной Двины. Условные обозначения. Относительная опасность наводнений.

▲ 0–50 ▲ 50–100 ▲ 100–200 ▲ 200–350

Для пространственной характеристики наводнений и расчета площади затопления долины на участке, а также для визуализации затопления построены цифровые модели затопления участков Северной Двины в районе Котласа и Усть-Пинеги. Для этого в каждом случае был оцифрован рельеф долины на участке приблизительно 10×12 км. Участок выбран с учетом ближайшего нижерасположенного переката или узла слияния рек, где могут образоваться заторы. В качестве исходных материалов использованы топографические карты масштаба 1:50 000, лоцманские карты соответствующих участков, векторная карта России масштаба 1:1 000 000. В результате проделанной работы появилась возможность рассчитать площадь затопления $F_{\text{зат}}$ долины как функцию от уровня воды $F_{\text{зат}} = f(H)$, а также стала возможной визуализация затопления долины и населенных пунктов. Точность построения затопления была оценена с помощью космических снимков. В качестве примера в статье рассмотрен участок Северной Двины в районе с. Усть-Пине-

ги. Пост Усть-Пинега расположен у села, в 0,7 км ниже впадения р. Пинеги. Прилегающая к долине местность – заболоченная залесенная равнина. Долина реки на участке поста трапециевидная, шириной 20–80 м. Русло реки на участке поста прямолинейное, песчаное, деформирующееся. Продолжительность затопления долины на данном участке зависит от максимального уровня в период половодья (рис. 6). В данном случае на участке с врезанным руслом ход уровня определяется изменением во времени стоковых характеристик и заторов. Повторяемость заторов на данном участке составляет 58%. Наиболее высокие подъемы уровня воды во время затора наблюдались в 1944, 1955, 1957, 1958, 1962, 1964, 1973, 1979, 1981, 1986 гг. За исключением отдельных лет, величина максимального уровня определяет продолжительность затопления поймы. Отдельные выдающиеся наводнения (на рис. 6, обведенные кружком) в большинстве случаев обусловлены заторами (1964, 1991, 1992 гг.). Модель затопления долины Северной Двины в районе

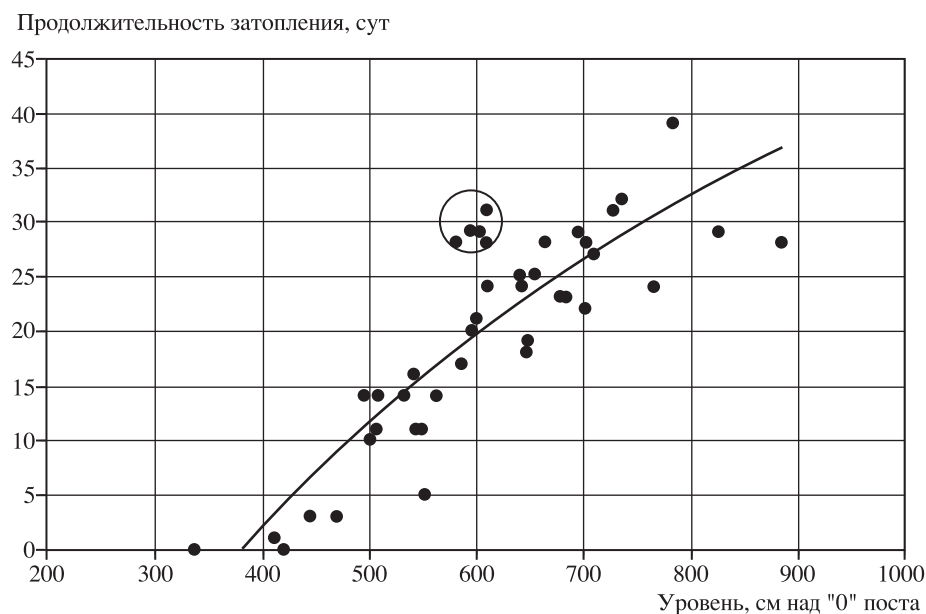


Рис. 6. Зависимость продолжительности затопления поймы (сут.) от максимального уровня воды на участке слияния Северной Двины и Пинеги

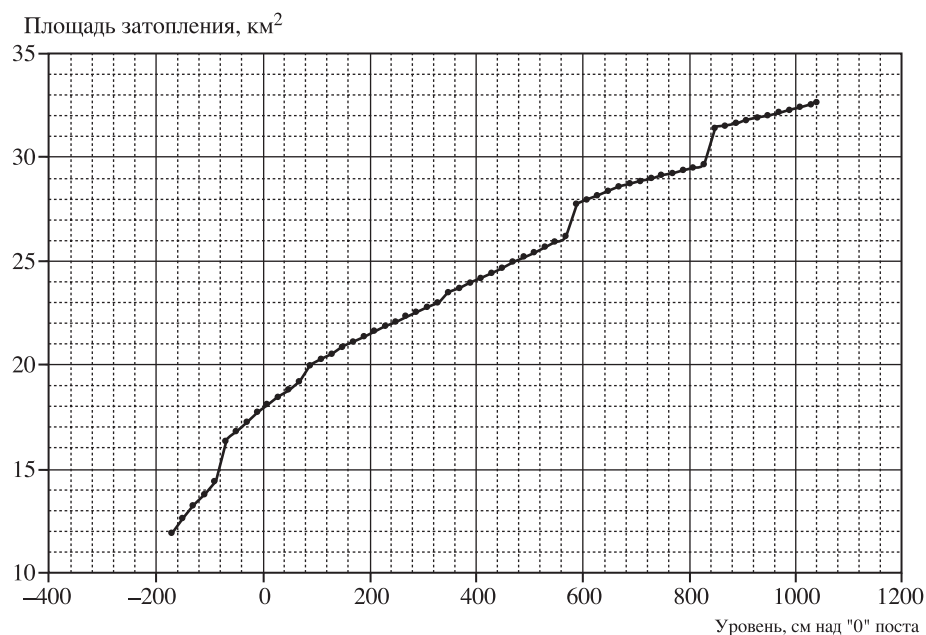


Рис. 7. График изменения площади водной поверхности на участке Северной Двины в районе с. Усть-Пинега при разных значениях уровня воды

устья р. Пинеги хорошо соответствует реальному затоплению долины. Подпор воды от заторов и зажоров образуется в 3 км ниже устья р. Пинеги, где начинается разветвление русла на рукава.

С помощью программы Arcview рассчитаны площади водной поверхности при различных уровнях воды на посту. График нарастания площадей показан на рис. 7. Сравнительно резкие скачки на графике обусловлены затоплением не-

высоких выровненных побочной и осередков при соответствующих уровнях воды: –80 см над “0” поста – бечевники обрывистых берегов; 570 см – побочни и участок поймы в нижней части участка перед разветвлением; 840 см – наиболее низменные части долины – самая крупная часть на левом берегу в самом крупном рукаве.

Адекватность построенной модели была проверена с помощью доступных космических сним-

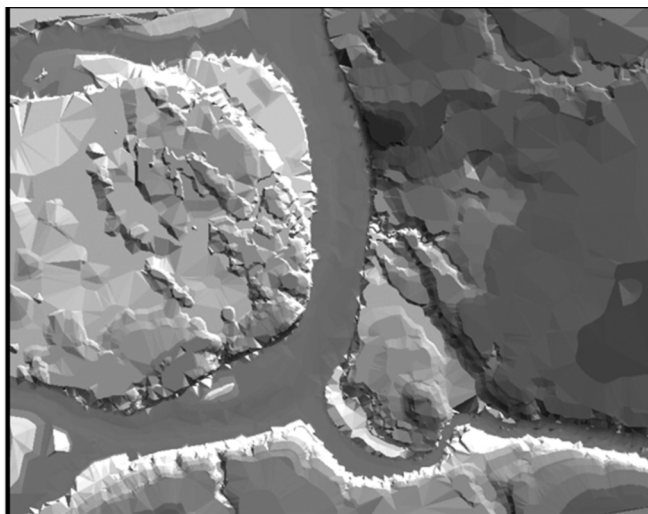


Рис. 8. Реальное и смоделированное затопления участка Северной Двины в районе с. Усть-Пинега (по данным 12.06.2001 г.)

ков. Пример приведен на рис. 8, снимок сделан 12.06.2001 г. при уровне 136 см.

Выводы. Формирование наводнений, часто катастрофических на реках севера европейской территории России, связано с особенностями географического положения бассейнов и формирования стока рек. Для оценки опасности наводнений и разработки расчетных и прогнозных методик изучены закономерности формирования уровней воды – основной характеристики, определяющей гидрологическую и экологическую безопасность населения, хозяйства и биоценозов речных долин. Выявлено, что при отмечаемых изменениях климата на севере ЕТР статистически значимые тренды изменения максимальных уровней воды, за редким исключением, на реках бассейна Северной Двины не наблюдаются. Показано, что опасность наводнений зависит не только от высоты подъема уровня воды и глубины затопления поймы, но и от повторяемости наводнений, а также от продолжительности стояния высоких уровней воды. Предложена классификация наводнений по степени опасности, связанная с глубиной затопления поймы и повторяемостью наводнений, отражающая особенности данного региона. Рассмотрены возможности использования методов математического моделирования для прогноза расходов и уровней воды, а также площади затопления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б. Наводнения: факты, причины, защиты // География в школе. 1994, № 6. С. 3–8.
2. Алабян А.М., Алексеевский Н.И., Евсеева Л.С., Жук В.А. и др. Генетический анализ причин весеннего затопления долины Малой Северной Двины в районе г. Великого Устюга // Эрозионные и русловые процессы. Вып.14. М., 2004. С. 104–130.
3. Алексеевский Н.И., Жук В.А., Фролова Н.Л. Учет генетических механизмов изменения уровней воды при моделировании процессов затопления и характеристик наводнений на реках севера Европейской территории России. “Генетические и вероятностные методы в гидрологии: проблемы развития и взаимосвязи” // Тр. Междунар. семинара, посвященные 100-летию со дня рождения А.Н. Бефани г. Одесса 26–28 марта 2009 г. М., 2009. С. 145–155.
4. Алексеевский Н.И., Ободовский А.Г., Самохин М.А. Механизмы изменения уровней воды в реках // Эроз. и русл. процессы. Вып. 4. М.: Изд-во МГУ, 2005. С. 216–237.
5. Алексеевский Н.И., Самохин М.А. Пространственно-временная изменчивость уровней воды в руслах рек // Ученые записки № 5. СПб: Изд-во РГГМУ, 2007. С. 21–28.
6. Бузин В.А. Затопления льда и затопные наводнения на реках. СПб: Гидрометеиздат, 2004. 202 с.
7. Весеннее половодье в Вологодской области / Под общ. ред. Плеханова А.Н. Вологда, 2005. 112 с.
8. Гидрология устьевой области Северной Двины. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 376 с.
9. Грищенко Н.С., Шевченко Г.В., Марченко А.А. Предотвращение вредного воздействия вод от половодий и паводков на территории пойм рек (озер) Российской Федерации: Тез. докл. Всерос. конгресса работников водного хозяйства. М., 2003. С.191–192.
10. Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: ГЕОС, 2006. 256 с.
11. Доброумов Б.М., Тумановская С.М. Наводнения на реках России: их формирование и районирование // Метеорология и гидрология. 2002. № 12. С. 70–78.

12. *Ильина Л.Л., Грахов А.Н.* Реки Севера. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 127 с.
13. *Крыленко И.Н.* Математическое моделирование подпорных явлений в узле слияния Сухоны и Юга // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 2009. № 1. С. 53–57.
14. *Любомирова К.С.* Наводнения на территории СССР // Вод. ресурсы. 1975. № 2. С. 72–83.
15. *Мандыч А.Ф.* Наводнения и их типы. // Изв. АН. Сер. геогр. 2002. № 2. С. 23–32.
16. *Нежиховский Р.А.* Наводнения на реках и озерах. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 183 с.
17. Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности. / Под ред. Голицына Г.С., Васильева А.А.. М.: Крук, 2001. 296 с.
18. Стихийные бедствия, изучение и методы борьбы. М.: Прогресс, 1978. 416 с.
19. *Таратунин А.А.* Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург, 2000. 308 с.
20. *Чеботарев А.И.* Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 308 с.

Floods on the North-European Russian Rivers (by the example of Severnaya Dvina River)

P.N. Tersky, N.L. Frolova

Lomonosov MSU, faculty of geography

The special features of north-European rivers flow-forming make specific preconditions for floods, that often catastrophic. The main characteristic of water regime, which determines hydroecological safety of river valleys, is water level. Assessment of flood-probability and danger, and also calculation of depth and area of flooded land are very important practical goal. Because of low-density (rare) monitoring-net existing methods of hydrometeorological information gathering often can't represent general flood situation in river basin. This insufficiency can embarrass taking steps on negative impact decreasing and liquidation of consequences. These enumerated problems and methods of their solving are analyzed by the example of Severnaya Dvina river basin.