

* ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ НАВОДНЕНИЙ НА РЕКАХ БАСЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

© 2011 г. П.Н. Терский

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Ключевые слова: половодье, максимальный уровень воды, затопление поймы, наводнение, ГИС.



В статье рассмотрены генетические предпосылки формирования наводнений на реках бассейна Северной Двины, особенности формирования и режима максимальных уровней воды, их связь с характеристиками долин и водосборов рек. Приведена оценка потенциальной опасности наводнений для пойменных территорий. Рассмотрены возможности изучения затопления речных долин с помощью ГИС-технологий.

Наводнения в бассейне Северной Двины

Бассейн р. Северная Двина располагается в северо-восточной части Восточно-Европейской равнины, в бассейне Белого моря. Для него характерно избыточное увлажнение и относительное однообразие природных условий. Особенности климата определяются малым количеством солнечной радиации зимой, воздействием северных морей и интенсивным западным переносом воздушных масс [1].

Река Северная Двина образуется от слияния рек Сухоны и Юга, берущих свое начало в Вологодской области, протекает по территории Республики Коми и Архангельской области и впадает в Двинскую губу Белого моря. Длина реки составляет 744 км, площадь бассейна — 357 тыс. км². Северная Двина — типично равнинная река со сравнительно небольшими уклонами (средний уклон около 0,07 ‰) и широкой долиной, пойма которой достигает в ширину 10 км и более [2]. На участке Северной

* Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (государственный контракт № 02.740.11.0336 и проект № П164).

Двины между устьями рек Ваги и Пинеги характер долины и русла несколько изменяется: высокие обрывистые берега, сложенные известняками, подходят здесь к самому руслу, а пойма местами совершенно исчезает, на Пинеге также преобладает врезанное русло.

Избыточное увлажнение и сравнительно однородные природные условия обуславливают достаточно развитую речную сеть в бассейне Северной Двины. Густота речной сети в среднем составляет 0,5—0,6 км/км². Малые реки (с длиной менее 100 км и площадью менее 2000 км²) составляют 99,5 % общего числа рек бассейна [3].

В настоящее время реки бассейна Северной Двины используются для судоходства и сплава леса. Водозабор из рек и озер и использование их энергетического потенциала незначительны. Основная часть жилых, сельскохозяйственных и производственных построек и сооружений находится в пределах речных долин.

Вследствие значительных подъемов уровня воды во время половодья периодически подвержены затоплению и подтоплению несколько городов и десятки поселков на реках Сухона, Вычегда, Юг, Большая Северная Двина, Емца и др. (Великий Устюг, Архангельск, Котлас, Орлецы, Сокол, Нюксеницы). Для острова Соломбалы (Архангельск), например, подъем уровня на 4 м над меженью уже создает реальную угрозу наводнения. Наводнения у г. Великий Устюг приводят к затоплению города, сокращению навигации, угрозе сохранности флота. Наводнения в районе Котласа приводят к затоплению и подтоплению жилых районов города и окрестных деревень, затоплению лесозавода и судоремонтного завода в самом городе. Значительный вклад в повышение уровня воды в период половодья вносит заторная составляющая. Особо опасны заторы и подпорные наводнения для Котласа, Шенкурска, Палауза и других постов, где заторы в большинстве случаев вызывают выход воды на пойму.

В бассейне Северной Двины в последнее десятилетие экстремальных наводнений не наблюдалось, однако материальный ущерб в этом регионе, который, главным образом, страдает от наводнений, может быть очень высоким из-за экстремально низкого половодья. Водопользователи, имея многолетний опыт, ежегодно готовятся к возникновению потенциально опасного явления, характерного для данного региона высокого половодья, и планируют хозяйственную деятельность, рассчитывая получить экономическую выгоду. Нарушение многолетнего режима потенциально опасных явлений привело в 2006 г. к экономическим потерям, экстремально низкие уровни воды на Северной Двине — к обсушке плотов зимней плотки, что привело к значительному ущербу для лесозаготовителей.

Закономерности формирования максимальных уровней воды

Уровень воды H — основная характеристика водного режима, определяющая безопасность населения и хозяйства на освоенных участках речных долин. Она испытывает большую пространственно-временную изменчивость вследствие комплексного воздействия разных факторов на наполнение русла реки водой. Рассматривая максимальные уровни воды, необходимо отметить, что в момент наступления максимума изменение уровня воды отражает их совместное воздействие [4—6], т. е.

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

где ΔH_i — 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). Например, в узле слияния рек 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 [4]. На участке Сухоны непосредственно выше слияния с Югом вклад подпора в общее повышение уровня воды может составлять до 30 % от общего изменения отметок водной поверхности и достигать 1,3 м [7]. Подобная ситуация характерна и для других устьевых участков рек.

Анализ максимальных уровней воды на 47 постах бассейна за 51-летний период показал, что 82,6 % максимальных уровней образуется за счет таяния снега, 17,0 % имеют подпорное происхождение и только 0,4 % максимальных уровней приходится на летне-осенние паводки.

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

Одной из важных характеристик колебаний максимальных уровней воды и возможного затопления территории является 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 (которая в значительной степени зависит от пло-

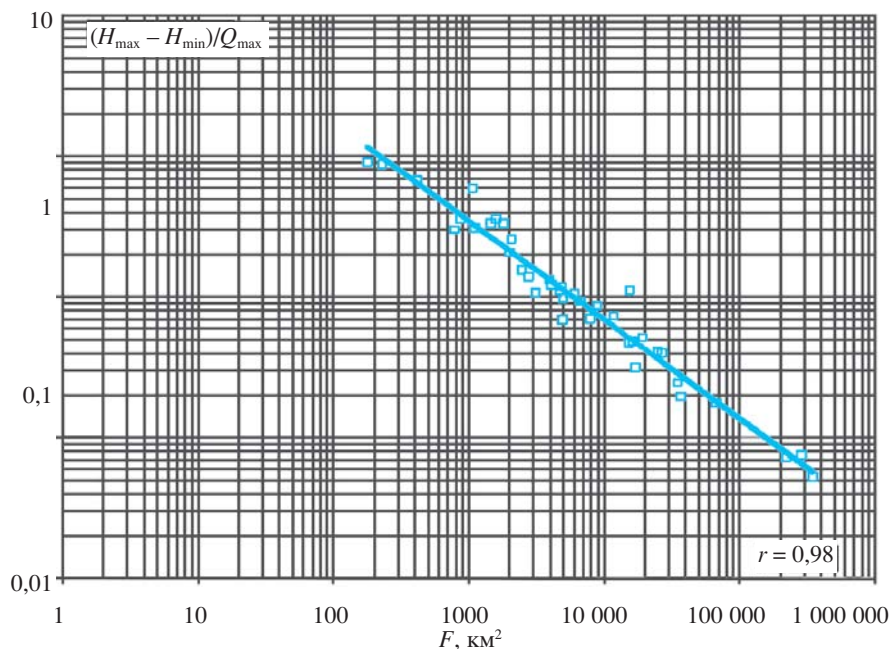


Рис. 1. Связь размаха колебаний уровня воды $A = H_{\max} - H_{\min}$, нормированного на максимальный расход воды Q_{\max} , с площадью водосбора F (км²) для рек бассейна Северной Двины.

щади водосбора) и морфометрическими характеристиками ее долины (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. По этой зависимости (построенной для постов, на которых проводятся наблюдения за расходами воды) можно оценивать величину максимального размаха колебаний уровня воды для неизученных створов.

На карте (рис. 2) показана пространственная изменчивость размаха колебаний уровней воды для рек бассейна. Величина A максимальна (более 9 м), как правило, для крупных рек (Северная Двина, Сухона), од-

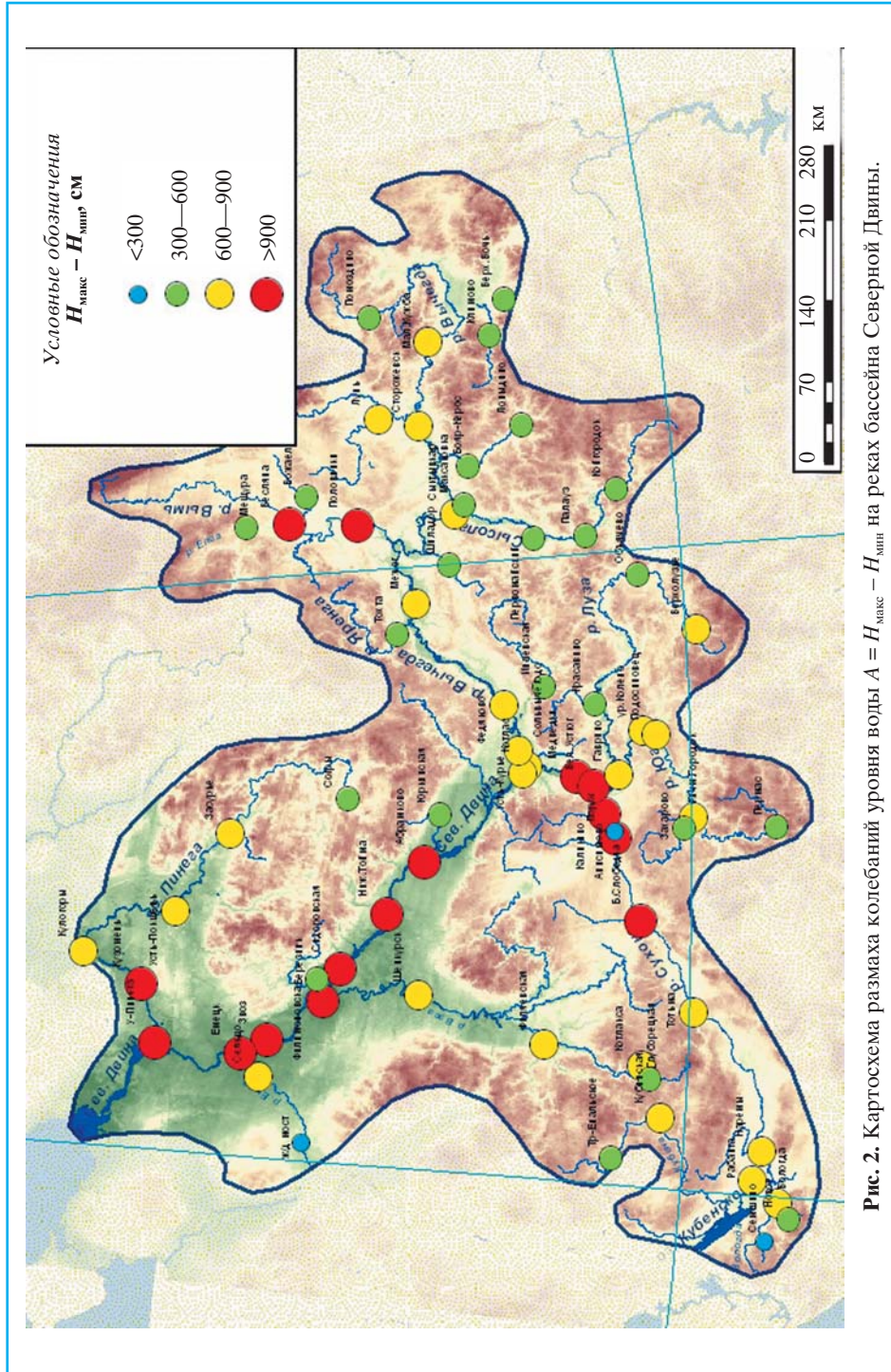


Рис. 2. Картограмма размаха колебаний уровня воды $A = H_{\max} - H_{\min}$ на реках бассейна Северной Двины.

нако 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). Возможность серьезных наводнений, связанных со значительным колебанием уровня воды, следует рассматривать именно на многоводных крупных реках, а также в узлах слияния крупных рек.

Другая важная характеристика наводнений в районах, где затопление поймы может нанести потенциальный материальный ущерб (при наличии хозяйственного использования) — 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 [8]. В целом, в верховьях бассейна глубина затопления поймы меньше, чем в нижнем течении. Это связано с размерами водотоков, в том числе с их водностью.

На территории бассейна Северной Двины для анализируемых створов по данным наблюдений максимальный уровень вызван заторами в 43 % случаев. Наиболее высокая 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 неодновременностью прохождения половодья на этих реках, вскрытие устьевой области Северной Двины происходит, в основном, в результате прохождения первой волны половодья с р. Сухоны.

Оценка опасности наводнений

За последние десятилетия, несмотря на проведение защитных противопаводковых мероприятий, потери от наводнений имеют устойчивую тенденцию к росту. Это происходит по целому ряду причин, среди которых снижение аккумулирующей способности водосборов в результате антропогенной деятельности, интенсивное и часто нерациональное использование паводкоопасных территорий, ухудшение качества и достоверности прогнозов, аварии на гидротехнических сооружениях, сокращение объемов финансирования противопаводковых мероприятий [9].

Наводнения наносят огромный материальный ущерб населению и экономике, являются источником опасности для человека, создают

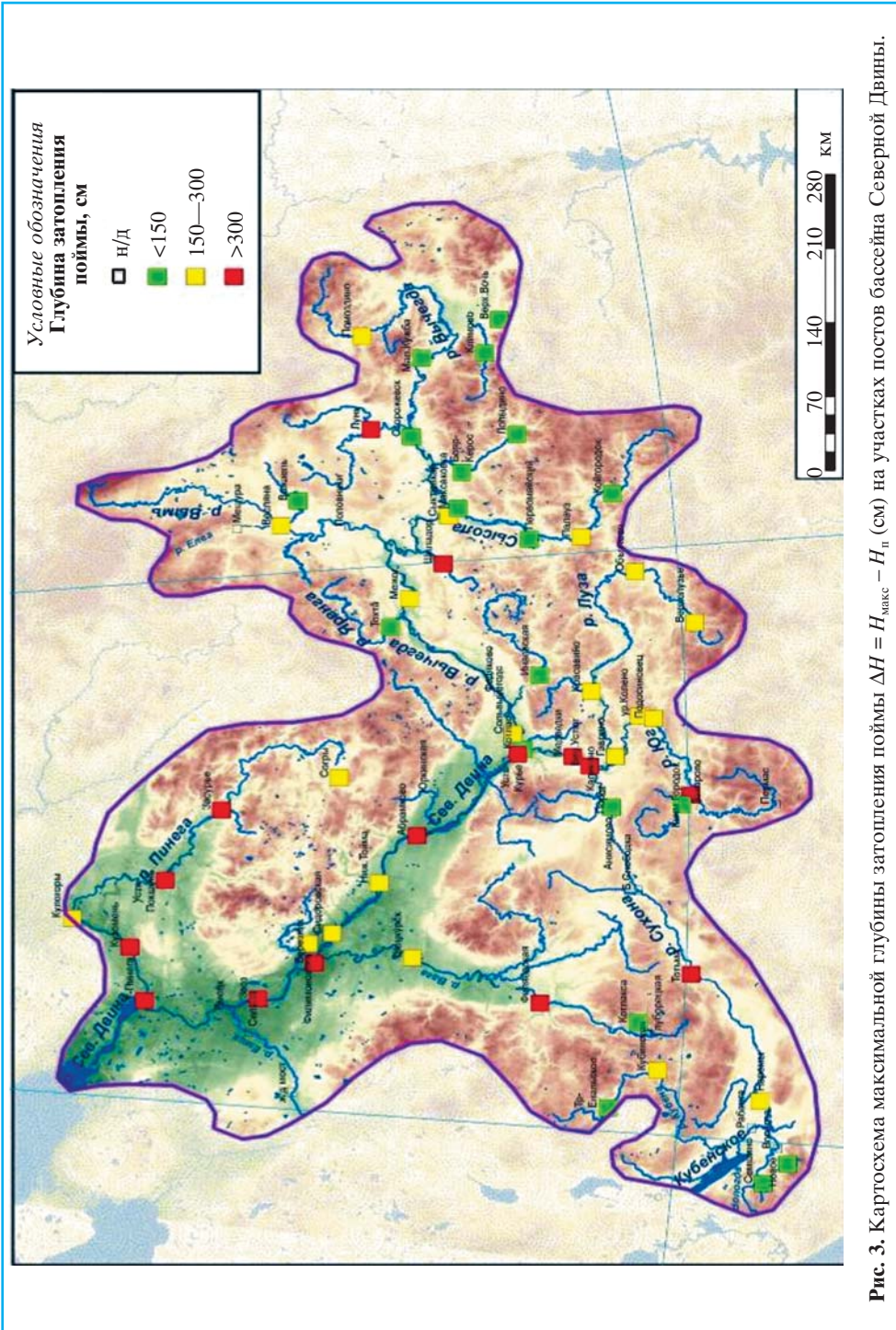


Рис. 3. Картограмма максимальной глубины затопления поймы $\Delta H = H_{\max} - H_{\text{п}}$ (см) на участках постов бассейна Северной Двины.

угрозу его жизни. 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.

Количественной мерой потенциальной опасности является величина относительной опасности наводнения [10]:

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

где $H_{1\%}$ — расчетный уровень 1 % обеспеченности;

$H_{п}$ — 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, в целом, невысока, однако для отдельных постов (Кузомень на р. Пинеге, Березник на р. Северной Двине, Великий Устюг на р. Сухоне, Подосиновец на р. Юг и Весляна на р. Вымь) характерны высокие значения, как вследствие невысокой повторяемости, так и из-за высоких значений глубины затопления поймы (рис. 4).

Исследование процессов затопления речных долин и мониторинг половодья с помощью ГИС-технологий

Существующая разреженная сеть мониторинга не позволяет получить общую картину наводнения в бассейне реки, что затрудняет принятие мер по предупреждению или сокращению соответствующих ущербов.

Для пространственной характеристики наводнений и расчета площади затопления долины на участке, а также визуализации затопления построены цифровые модели затопления участков Северной Двины в районе Котласа и Усть-Пинеге. Картографическая основа цифровой модели рельефа (ЦМР) — топографические карты масштаба 1:50 000 и лоцманские карты. Водная поверхность моделировалась с учетом уклона. Полученная схема позволяет оценить площадь затопления долины $F_{зат}$ как функцию от уровня воды $F_{зат} = f(H)$, а также стала возможна визуализация затопления долины и населенных пунктов.

В качестве примера приведен участок Северной Двины в районе г. Котлас. Водная поверхность была смоделирована с учетом хода уровня на трех постах: Котлас и Усть-Курье (на расстоянии 2,1 км друг от

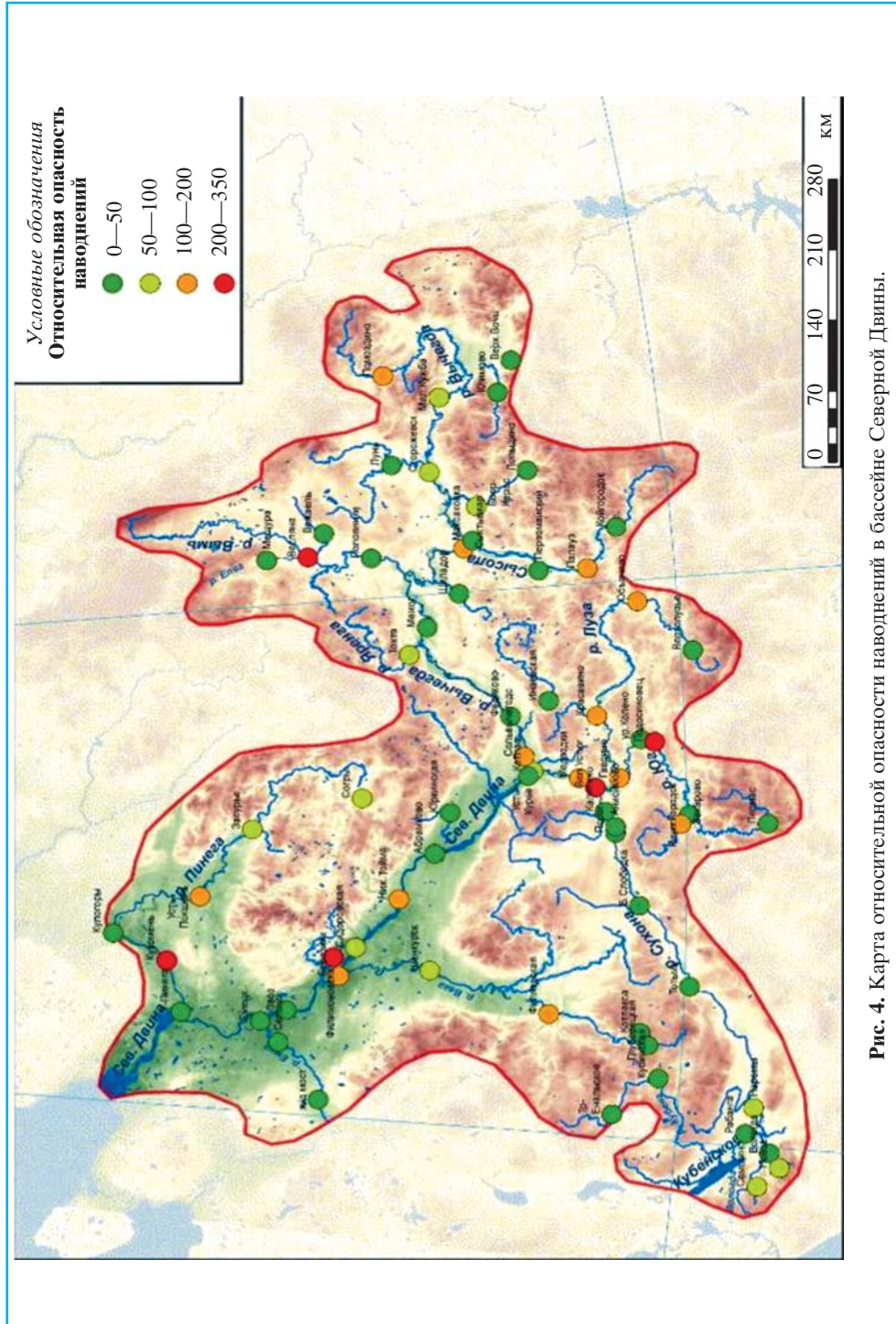


Рис. 4. Карта относительной опасности наводнений в бассейне Северной Двины.

друга) на Северной Двине и Сольвычегодск на Вычегде (в 20 км выше устья Вычегды). Разница в абсолютных отметках уровня воды на г/п Котлас и Усть-Курье в половодье находится в диапазоне 0,8—0,9 м. Для того, чтобы задавать отметки водной поверхности на Вычегде на верхней границе участка, необходимо интерполировать уровень между постами. Для этого построена зависимость между суточными уровнями воды в Сольвычегодске и Котласе.

Связь уровней тесная и линейная, поэтому в пределах погрешности модели затопления по этой связи рассчитан уклон водной поверхности, используемый для построения водной поверхности в многоводный период. С помощью программного пакета ArcView GIS построена водная поверхность, учитывающая уклоны, которая была пересечена с цифровой моделью рельефа долины реки (рельеф берегов получен с помощью топографических карт масштаба 1:50 000, рельеф русла получен с лоцманских карт). Проведенное визуальное сравнение схемы затопления долины реки и космических снимков (при одинаковых уровнях воды на постах) показало адекватность построенной схемы затопления долины для локального масштаба (рис. 5). Точность расчета площади затопления речной долины определяется главным образом масштабом топографической основы.

Применение ГИС-технологий также оправданно для регионального масштаба изучаемых явлений. Вследствие обширности территории бассейна Северной Двины и редкой сети наблюдений, оперативное изучение прохождения половодья только на основании данных наблюдений

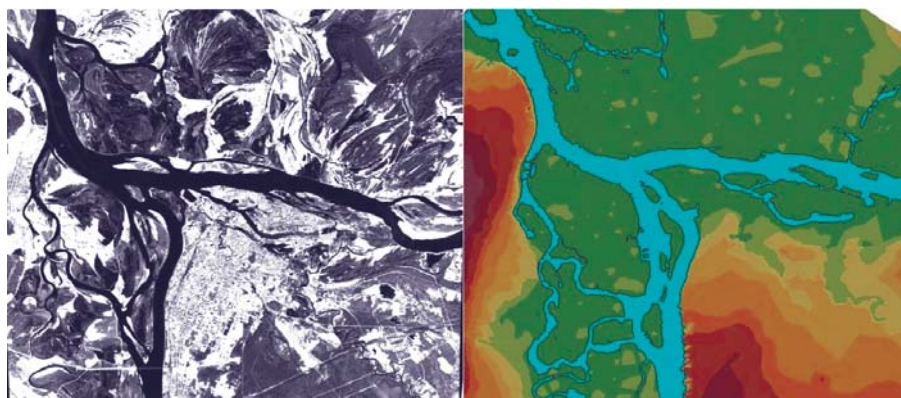


Рис. 5. Реальное и смоделированное затопление участка долины Северной Двины в районе Котласа при уровне воды на г/п Котлас $H = 283$ см.

на постах для всей территории бассейна затруднительно. ГИС-технологии позволяют оперативно картировать основные характеристики половодий и в сравнительно короткие сроки предоставлять пространственную информацию о характере прохождения половодья в региональном масштабе. Примером результата обработки оперативных данных об уровнях воды стали карты даты начала и продолжительности половодья, а также распределения по территории бассейна максимальной глубины затопления поймы (или критического уровня) и продолжительности ее затопления.

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. 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. Рассмотрены возможности использования ГИС-технологий для изучения затопления речных долин и оперативного мониторинга половодья на реках бассейна Северной Двины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 3. Северный край. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 663 с.
2. Реки России. Речные бассейны / под науч. ред. А.М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2000. 536 с.
3. Комплексные проблемы охраны и рационального использования водных ресурсов малых рек бассейна Северной Двины; тез. докл. Архангельск, 1989. 82 с.
4. 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. Труды Международного семинара, посвященные 100-летию со дня рождения А.Н. Бефани, г. Одесса, 26—28 марта 2009 г. М., 2009. С. 145—155.
5. Алексеевский Н.И., Ободовский А.Г., Самохин М.А. Механизмы изменения уровней воды в реках // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 4. 2005. С. 216—237.
6. Алексеевский Н.И., Самохин М.А. Пространственно-временная изменчивость уровней воды в руслах рек // Ученые записки. 2007. № 5. С. 21—28.

7. Крыленко И.Н. Математическое моделирование подпорных явлений в узле слияния Сухоны и Юга // Вестник МГУ. Серия 5. География. 2009. № 1. С. 53—57.
8. Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности / под ред. Г.С. Голицына, А.А. Васильева. М.: «Крук», 2001. 296 с.
9. Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: ГЕОС, 2006. 256 с.
10. Бузин В.А. Заторы льда и заторные наводнения на реках. СПб.: Гидрометеоздат, 2004. 202 с.

Сведения об авторе:

Терский Павел Николаевич, инженер, географический факультет, кафедра гидрологии суши, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 119899, Москва, Ленинские Горы, ГСП-1, e-mail: pavel_tersky@mail.ru