

УДК 556.084

М. В. БОЛГОВ\*, **Н. И. АЛЕКСЕЕВСКИЙ\*\***, Б. И. ГАРЦМАН\*\*\*, В. Ю. ГЕОРГИЕВСКИЙ\*\*\*\*,  
И. О. ДУГИНА\*\*\*\*\*, В. И. КИМ\*\*\*\*\*, А. Н. МАХИНОВ\*\*\*\*\*, А. Л. ШАЛЫГИН\*\*\*\*

\*Институт водных проблем РАН, г. Москва

\*\*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

\*\*\*Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток

\*\*\*\*Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург

\*\*\*\*\*Департамент Росгидромета по Дальневосточному федеральному округу, г. Хабаровск

\*\*\*\*\*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск

### ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ НАВОДНЕНИЕ В БАССЕЙНЕ АМУРА В 2013 ГОДУ: АНАЛИЗ ФОРМИРОВАНИЯ, ОЦЕНКИ И РЕКОМЕНДАЦИИ

*Для решения задач анализа наводнения в бассейне р. Амур в 2013 г. выполнен комплекс гидрологических исследований, включающий полевые работы, статистическую обработку результатов гидрологического мониторинга, гидродинамическое моделирование, расчеты регулирования паводочного стока в имитационном режиме, изучение формирования стока и др. Обсуждаются условия формирования наивысших расходов и уровней в процессе наводнения, рассматриваются состояние изученности водосборного бассейна, методы оценки расчетных гидрологических характеристик. Проанализированы процессы направленной аккумуляции на Нижнем Амуре и оценено их воздействие на степень опасности наводнения. Показано, что на высоту паводка в нижнем течении, кроме хозяйственного освоения, оказывают влияние специфические факторы, обусловленные аккумуляцией наносов в долине реки. Отмечено существенное снижение пропускной способности русла в районе Хабаровского водного узла и ниже, в том числе в результате целенаправленных действий по перераспределению стока между рукавами, что способствовало повышению отметок водной поверхности в 2013 г. до экстремальных значений. Анализ уровней воды в среднем и нижнем течении Амура, выполненный с помощью комплекса моделей, показал, что имеющаяся нестационарность изменения отметок водной поверхности в основном обусловлена регулированием стока, а также различными видами антропогенного воздействия на состояние русла, поймы и гидравлическое состояние водного потока.*

Ключевые слова: катастрофический паводок, наивысшие уровни, антропогенное воздействие, русловые процессы.

*For solving the problems of analyzing the 2013 flood within the Amur river basin we undertook an array of investigations including field work, a statistical processing of hydrological monitoring results, a hydrodynamical modeling, calculations of the flood flow regulation in the simulation mode, a study of flow formation, etc. We discuss the formation conditions of maximum discharges and levels for the flooding process, and examine the state of knowledge concerning the drainage basin, and the methods of assessing the calculated hydrological characteristics. An analysis is made of the processes of directional accumulation in the lower reach of the Amur, and their effects on the degree of flood hazard. It is shown that the height of flood in the lower reach is influenced, in addition to economic development, by specific factors caused by alluvium accumulation in the river valley. The study revealed a substantial decrease in discharge capacity of the river channel in the area of the Khabarovsk water node and downstream, including as a result of the measures for purposeful streamflow redistribution between the branches, which contributed to an increase in water surface elevations in 2013 to extreme values. An analysis of the water levels in the middle and lower reaches of the Amur was made using a package of models to demonstrate that the existing nonstationarity of changes in water surface elevations is largely due to the streamflow regulation as well as to the various types of anthropogenic impact on the state of the channel and floodplain, and on the hydraulic state of the water flow.*

Keywords: disastrous flood, maximum levels, anthropogenic impact, channel processes.

#### ВВЕДЕНИЕ

Проблема наводнений в Российской Федерации становится все более актуальной. Произшедшие в последние годы наводнения в Крымске, на Алтае, Камчатке, в Магаданской области, в бассейнах рек Амур и Колыма и многие другие не столь катастрофические события выявили целый ряд сложно решаемых задач и проблем [1–5].

Хозяйственное освоение территорий, характеризующихся повышенной степенью риска проявления опасных природных процессов, в том числе гидрологических, осуществляется без реализации

комплекса превентивных и защитных мероприятий. Существующая нормативная база применяется не в полной мере, методы прогноза опасных природных процессов развиваются недостаточно. Неоднозначен прогресс и в разработке технических средств, а также методов инженерной защиты территорий от негативного воздействия вод, весьма ограничены современные возможности мониторинга гидрологического режима обширных неосвоенных территорий, продолжительное время не измерялись расходы воды на трансграничных участках рек.

Важнейшая гидрологическая задача в этих условиях — это интерпретация результатов гидрологических расчетов и прогнозов, оценка различных эффектов антропогенных воздействий на русло и пойму, последствий противопаводочного регулирования стока. Разреженная сеть гидрометеорологического мониторинга не позволяет осуществлять надежное прогнозирование притока к водохранилищам ГЭС с требуемой заблаговременностью и принимать наиболее оптимальные решения по их управлению.

Современные прикладные методы гидрологического расчета основываются главным образом на приближенной схематизации процессов формирования стока, при получении расчетных значений преобладают чисто стохастические модели и статистические методы. Практика гидрологического прогнозирования пока испытывает существенный дефицит оперативной информации и информационных технологий, а также современных модельных средств. В большинстве разделов гидрологии отсутствуют конкретные и обоснованные рекомендации по проблеме учета климатических изменений. Необходимо, конечно, отметить, что Росгидромет в 2014 г. провел большую работу по автоматизации пунктов наблюдений в бассейне Амура и, в частности, в бассейнах крупных водохранилищ, по разработке новых и усовершенствованию существующих методов гидрологических прогнозов, по внедрению новых технологий приема, обработки и визуализации фактической и прогностической информации.

Для решения некоторых из перечисленных задач в бассейне Амура выполнен комплекс гидрологических исследований. Анализ полученных сведений и выводов кратко представлен в данной статье.

#### **АНАЛИЗ МЕХАНИЗМОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПАВОДОЧНОГО СТОКА И РАЗВИТИЯ НАВОДНЕНИЯ В БАСЕЙНЕ РЕКИ АМУР В ЛЕТНЕ-ОСЕННИЙ ПЕРИОД 2013 г.**

Реки бассейна Амура по характеру водного режима относятся к дальневосточному типу с выраженным дождевым питанием. Доля дождевого питания в объеме годового стока составляет 47–85 %, снегового — 2–26, подземного — 9–31 %. Соотношение источников питания рек в каждом отдельном случае определяется географическим положением водосбора, существенное значение имеют его высота, наличие многолетней мерзлоты [6–8].

Интенсивность летних осадков при значительном предшествующем увлажнении почвогрунтов способствует формированию мощных дождевых паводков на многих реках бассейна и сопровождается наводнениями в среднем и нижнем течении Амура. Большая площадь бассейна и разнообразие условий в его пределах обуславливают существование нескольких паводковых очагов формирования наводнений. Основные очаги — Верхнеамурский, Зейско-Бурейский, Сунгарийский и Уссурийский [9, 10]. Многолетние колебания водности в пределах перечисленных частей бассейна Амура в целом не совпадают, доли их в общем стоке различны и крайне динамичны в рамках многолетних колебаний увлажненности. В среднем доля бассейнов Аргуни и Шилки в стоке Амура составляет 9,1 %, Зеи и Буреи — 27,2, Сунгари — 27,6, Уссури — 11,3 % [11]. Остальные притоки в совокупности обеспечивают около четверти стока.

Каждый из перечисленных очагов может быть зоной формирования условий для возникновения значительного наводнения на Амуре. Выдающиеся наводнения при этом формируются в результате совпадения паводковой активности в двух и более очагах. Например, паводок 1957 г. (максимальный расход воды достигал 35 500 м<sup>3</sup>/с) возник в Сунгарийском (48 %) и Зейско-Бурейском (42 %) очагах. В 1958 г. главной причиной наводнения стал паводочный сток, сформировавшийся в Зейско-Бурейском очаге (62 %), а затем в бассейне Верхнего Амура (19 %). В 1984 г. (максимальный расход воды у г. Хабаровска 32 900 м<sup>3</sup>/с) наибольшее значение имели Верхнеамурский и Зейско-Бурейский очаги: примерно 32–35 и 35–38 % соответственно от максимального стока у Хабаровска. Сток рек Сунгари и Уссури у Хабаровска при прохождении максимума составил около 18 и 8–10 % соответственно.

Основной причиной исторического наводнения 2013 г. для Нижнего Амура (максимальный расход 46 400 м<sup>3</sup>/с [12]) была высокая степень синхронности формирования и добегания паводочных волн практически со всей территории бассейна Амура [4] (рис. 1).

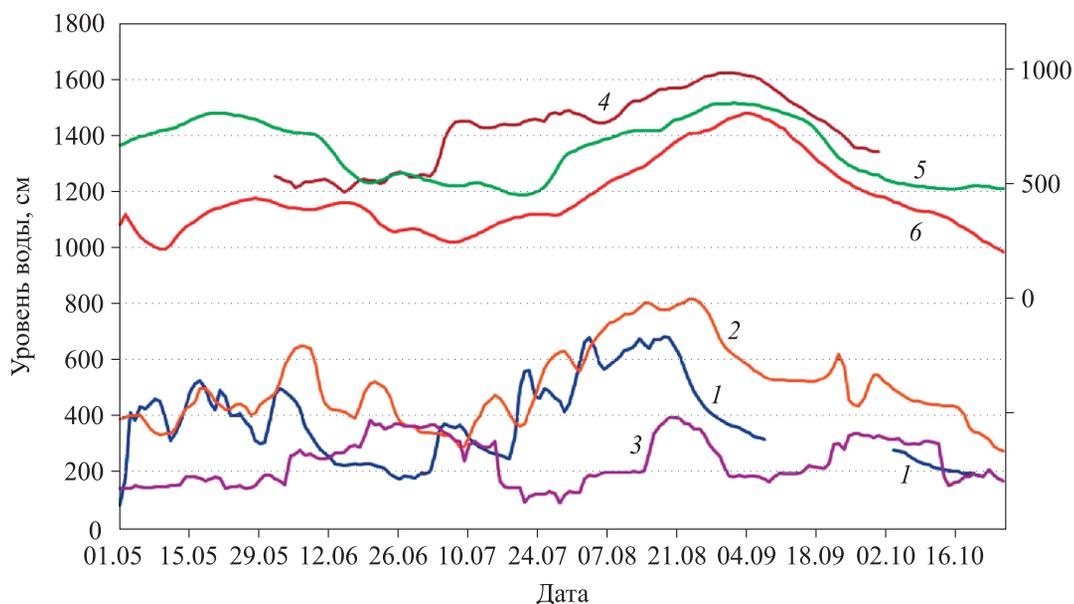


Рис. 1. Совмещенные графики хода уровней воды в бассейне Амура в многогодный период 2013 г.

Створ: 1 — р. Амур—с. Черняево, 2 — р. Зея—с. Белогорье, 3 — р. Бурей—с. Малиновка, 4 — р. Сунгари—пос. Цзямусы, 5 — р. Уссури—с. Шереметьево, 6 — р. Амур—Хабаровск.

Выполненные расчеты показали, что важной причиной наводнения 2013 г. за весь период инструментальных наблюдений для участка Среднего Амура от с. Нагибово и всего Нижнего Амура стало последовательное развитие паводков на притоках и добегание паводочных волн на максимуме смещения основного амурского паводка (см. рис. 1). При этом все основные притоки и малые реки бассейна были многогодными. Вклад Верхнего Амура в формирование максимума у Хабаровска составил около 20–22 %, Зея — приблизительно 25–27, Бурей — 5–6, Сунгари — 28–30, Уссури — 15–17 %.

Интервал максимальных модулей стока малых и средних рек региона составил 28,6–384 л/(с·км<sup>2</sup>), т. е. разница между минимальным и максимальным значениями 15-кратная, что характеризует разнообразие условий формирования максимумов. Реки более крупной градации (10–100 тыс. км<sup>2</sup>) демонстрируют почти такой же интервал значений (57,1–333 л/(с·км<sup>2</sup>)), что говорит о принципиальном сходстве и синхронности процессов формирования стока при возникновении выдающегося наводнения в бассейне Амура. Выделяется группа рек с экстремально большими значениями максимальных модулей стока (200–400 л/(с·км<sup>2</sup>)) в бассейне Зеи и прилегающей части бассейна Среднего Амура. Это означает достижение максимальных значений примерно 1%-й обеспеченности, наблюдавшееся в один год на огромной территории [13].

**Последовательность развития наводнения.** Амурский паводок 2013 г., который привел к масштабному наводнению, начался в июле в западной части бассейна, где основные зоны осадков располагались над восточной частью водосбора Зейского водохранилища, над равнинной частью Верхнего и Среднего Амура в Амурской области и над верховьями р. Нонни в КНР (бассейн р. Сунгари) [4]. В результате сначала разлились малые реки бассейна Зеи; на р. Правый Урган на 108 см были превышены исторические максимумы, а пойма затоплена на период более месяца (19.07–19.08).

Сток Верхнего Амура в 2013 г. не являлся экстремальным, хотя водность Шилки и Аргуни в июле и первой половине августа была повышенной. На р. Аргунь (с. Олочи) отметки опасного явления (ОЯ) в начале августа оказались превышены на 133 см. Пойма Аргуни в Приаргунском районе затоплялась на глубину 215 см, в Нерчинско-Заводском — на 394 см, в Газимуро-Заводском — на 137 см.

Истоки Аргуни расположены близко к истокам р. Нонни — главного притока Сунгари, где выпадение осадков происходило наиболее интенсивно. Поскольку значительную часть бассейна реки занимают лесостепь и степь (бессточные территории), сток в узле слияния с Шилкой уже не был таким большим. В бассейне Шилки периодически формировались паводки с выходом воды за бровки пойменных берегов на отдельных участках, однако уровни воды не достигали отметок ОЯ.

В результате максимальные уровни Верхнего Амура в Амурской области 16–18 августа 2013 г. оказались намного ниже опасных отметок с глубиной затопления поймы около 0,5–1,0 м. Лишь на участке Амура ниже впадения р. Хумархэ (КНР) глубина затопления поймы в середине августа превышала 3 м. Максимальные уровни Среднего Амура в Амурской области, в русле Зеи 16–20 августа превышали отметки ОЯ на 0,22–1,74 м. Глубина затопления пойм достигала 4,5 м, ширина разливов – 20–30 км.

Амурский паводок 2013 г. прирастал стоком основных южных притоков — Сунгари (КНР) и Уссури (КНР, РФ), а также многочисленных небольших притоков. Это привело к возникновению различий между катастрофическими наводнениями 1984 и 2013 гг. (рис. 2). На участке Среднего Амура от г. Благовещенска до с. Екатерино-Никольское паводок развивался, практически повторяя характеристики паводка 1984 г. Ниже по течению уровни Амура в 2013 г. оказались существенно выше. Небольшие российские и китайские притоки Амура в 2013 г. были более многоводными, так как зоны выпадения осадков и повышенная предшествующая увлажненность поверхности бассейна сохранялись на фоне смещения вдоль реки волны основного паводка.

Ниже впадения Сунгари (у с. Ленинское) уровень Амура был уже более чем на метр выше, чем в 1984 г. Как Сунгари, так и Уссури в 2013 г. оказались более многоводными. Максимальный расход Сунгари у г. Цзямусы составил 13 300 м<sup>3</sup>/с (31 августа). Большой расход воды в р. Сунгари наблюдался лишь в 1960 (18 400 м<sup>3</sup>/с) и 1998 гг. (16 200 м<sup>3</sup>/с). Доля стока Сунгари в 2013 г. составила примерно 30 % стока Амура у Хабаровска на максимуме, доля стока Уссури — около 16 %, доля стока Буреи — около 6 %; в 1984 г. Сунгари давала около 18 %, Уссури — около 9 %, Бурея — около 5 %.

На участке протяженностью более 1000 км (от с. Нагибово в ЕАО до с. Тахта в Хабаровском крае — 123 км от устья) максимальные отметки превышали исторические максимумы на 0,40–2,11 м. У крупных городов такие высокие уровни (с превышением исторических максимумов и опасных

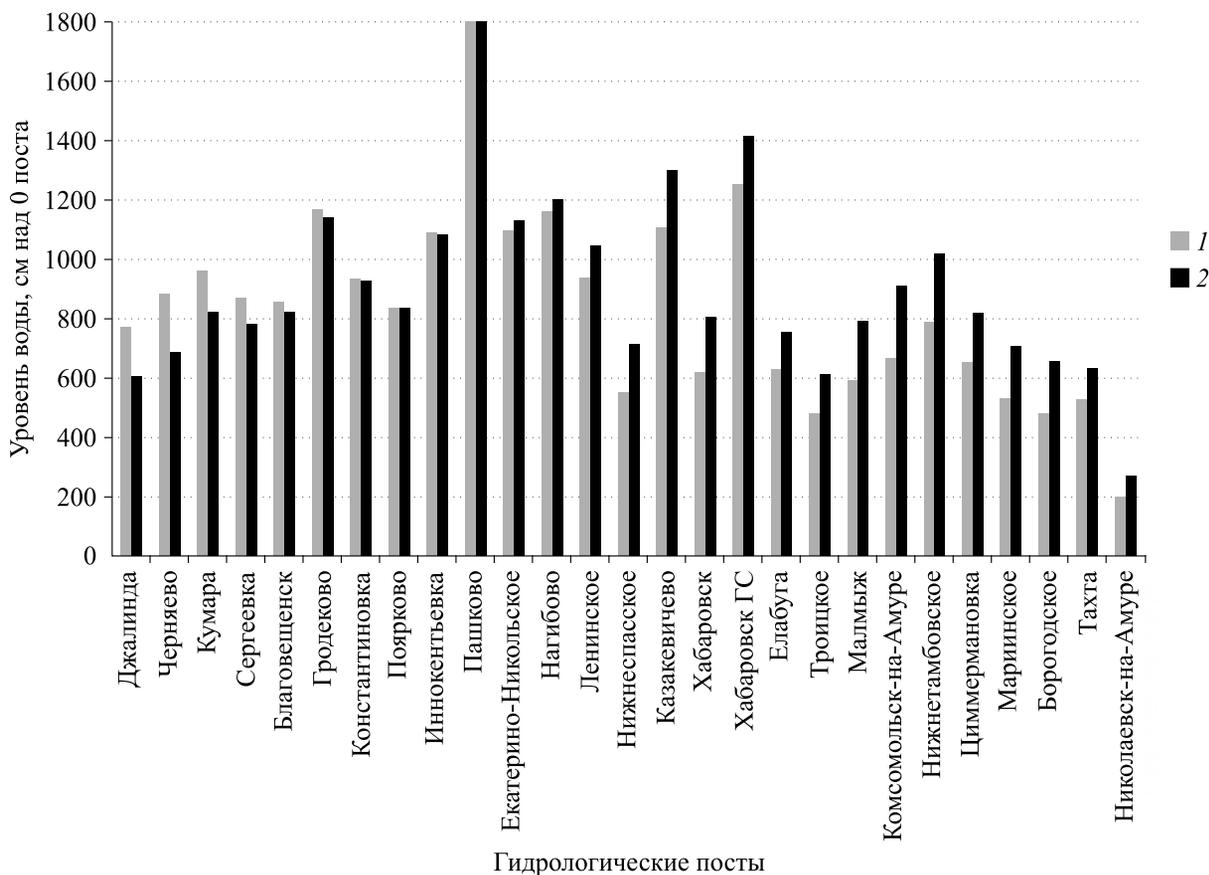


Рис. 2. Сравнение максимальных уровней воды за 1984 и 2013 гг.

1 — 1984 г., 2 — 2013 г.

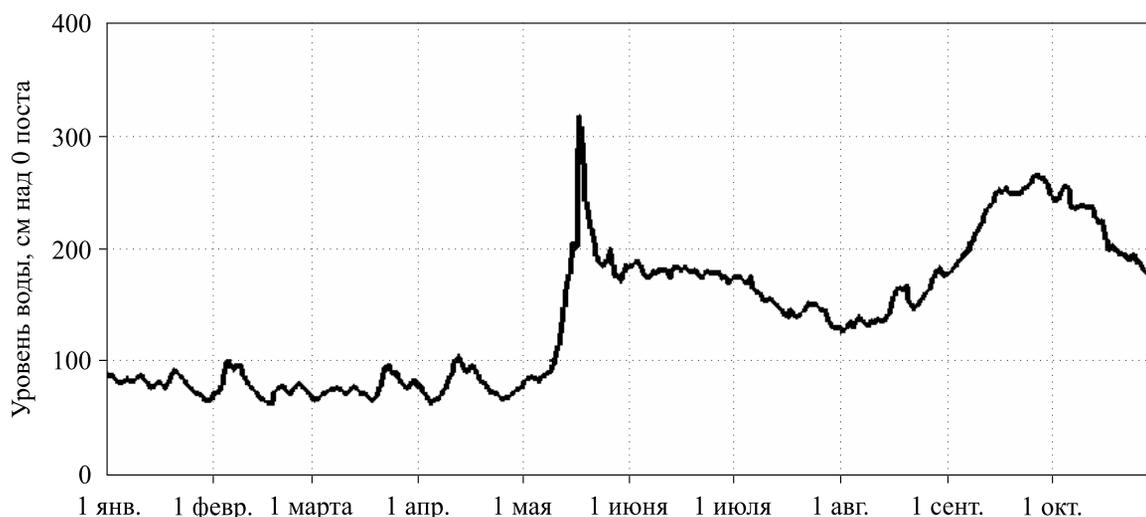


Рис. 3. Ход уровней воды Амура у г. Николаевска-на-Амуре в 2013 г.

отметок) фиксировались в течение месяца и более, а продолжительность затопления поймы с глубинами 2–4 м достигала двух месяцев и местами более [12].

Далее по течению Амура паводок постепенно распылялся и в г. Николаевск-на-Амуре, расположенном в 48 км от устья, в вершине Амурского лимана, его уровни хотя и превышали критическую отметку в период с 10 сентября по 15 октября, однако были намного ниже уровня весеннего половодья в мае 2013 г., обусловленного ледовыми явлениями (рис. 3).

### ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ НАПРАВЛЕННОЙ АККУМУЛЯЦИИ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ АМУРА И ЕЕ ВЛИЯНИЯ НА ОПАСНОСТЬ НАВОДНЕНИЙ

На высоту паводков в нижнем течении Амура оказывают влияние специфические факторы, обусловленные аккумуляцией наносов в долине реки. Амур относится к рекам, которые в своем эволюционном развитии не углубляются в днище долины, а наоборот, поднимаются на накапливающихся отложениях [14]. Соответственно, с течением времени становятся выше поверхность поймы и отметки урезов реки при различных уровнях воды относительно нуля гидрологических постов.

Основной объем речных наносов р. Амур формируется в ее среднем течении. Здесь на протяжении менее 1000 км в Амур впадают его наиболее крупные притоки — Зeya, Буряя, Сунгари и Усури, в сумме дающие около 65 % всего стока воды и более 90 % стока взвешенных наносов. Широкое распространение рыхлых, преимущественно глинистых отложений в бассейнах этих рек и высокая активность русловых процессов обуславливают существенное повышение мутности воды в среднем и нижнем течениях Амура (до 400–500 г/м<sup>3</sup>) и увеличение стока наносов.

Одновременно наблюдается устойчивое закономерное снижение мутности воды по длине реки (в среднем 30–35 %) [15]. Вниз по течению Амура уменьшается и средний размер частиц, переносимых потоком [16, 17]. Это объясняется осаждением в первую очередь наиболее крупных частиц, которых по мере приближения к устью реки становится меньше в водном потоке. Если в районе Хабаровска количество взвешенных частиц размером менее 0,005 мм составляет примерно 20 % от общего объема терригенного вещества, то в районе с. Богородское оно возрастает до 60 % и более (табл. 1).

Осадконакопление в пониженной части долины проходит неравномерно. На осередках и низких островах за один паводок может накапливаться слой отложений (на-

Таблица 1

Изменение крупности взвешенных наносов по длине р. Амур при средних уровнях воды [18]

Пункт	Размер частиц, мм					
	1–0,5	0,5–0,2	0,2–0,1	0,1–0,005	0,005–0,001	<0,001
Хабаровск	24,2	38,4	11,7	6,9	18,8	–
Комсомольск-на-Амуре	4,6	21,8	8,9	5,3	20,6	38,8
Богородское	0,2	5,3	9,6	18,6	44,6	21,7

илок) толщиной 30–40 см. В паводок 2013 г. максимальная толщина наилка на пойме приближалась к 1 м. В этот же период пойменные отложения местами подвергались размыву водным потоком. Эти эрозионно-аккумулятивные процессы, имеющие кратковременный, локальный и знакопеременный характер, сочетаются с наличием общего направленного повышения дна долины [19].

Участок реки ниже устья Сунгари (длина более 1200 км) характеризуется результирующей баланса наносов, которая соответствует их направленной аккумуляции [20]. Продолжительность этапа аккумуляции, по данным палеогеографических реконструкций, составляет 5–6 тыс. лет. Ему предшествовало относительно кратковременное, но энергичное врезание Амура в поверхность обширной равнины, сформированной в конце позднечетвертичного времени. Следы этого вреза сохранились во многих местах долины в виде крутых уступов высотой 4–8 м, поднимающихся над современной поймой. В настоящее время врез почти целиком заполнен русловыми и пойменными отложениями.

Причина современной аккумуляции в нижнем течении Амура заключается в региональном опускании обширной территории, расположенной к востоку от Малого Хингана. Движения носят дифференцированный характер. Отдельные участки погружаются со скоростью от 1–2 до 7–8 мм/год. Подобная ситуация характерна и для других крупных рек России [21].

По долинам Уссури, Хора, Анюя, Тунгуски, Амгуни регрессивная аккумуляция проникает вверх по течению от их устьев на 60–120 км, что следует учитывать при оценке высоты паводка в их низовьях. Ее влияние максимально выражено непосредственно в устьевой области притоков и снижается к зоне выклинивания регрессивной аккумуляции.

В устьях более мелких притоков Амура в условиях подпора образуются озера. Накопление речных наносов в их котловинах приводит к регрессивному смещению озер вверх по долинам притоков. В паводки обширные площади вокруг озер затапливаются, но, в отличие от пойм, течение воды на таких участках отсутствует. В 2013 г. увеличение размеров оз. Гасси прервало автомобильное сообщение между Хабаровском и Комсомольском-на-Амуре.

Во время катастрофических паводков во многих местах вода выходит за пределы поймы на пониженные участки Среднеамурской и Удиль-Кизинской низменностей, затапливая сотни квадратных километров приамурских болот. В районе оз. Болонь неглубокий, но широкий поток воды из Амура перетекает в низовья р. Харпи. Переливы известны также в низовьях некоторых других притоков Амура, а также Уссури и Амгуни. Особенно большой ущерб они наносят в междуречье Хора и Кии, поскольку приводят к затоплению полей и разрушению дорог.

Анализ имеющихся данных показывает, что среднегодовой сток взвешенных наносов р. Амур в створе Комсомольска-на-Амуре составляет 19 млн т, у Хабаровска – 24 млн т. На участке Амура между Хабаровском и Комсомольском-на-Амуре ежегодно накапливается около 5 млн т минеральных частиц. В настоящее время пока не представляется возможным выявить степень неравномерности скорости осадконакопления по длине нижнего течения Амура. В основном данные справедливы для русла реки в пределах Среднеамурской низменности. Песчано-глинистые частицы накапливаются в русле, на пойме и в озерах, повышая уровень поверхности на 1,2–1,5 мм/год [14].

С учетом стока наносов притоков Амура (реки Анюй, Гур и др.) и влекомых наносов реки, величина повышения поверхности днища долины в пределах низменности составляет примерно 1,7–1,8 мм/год, или 17–18 см за 100 лет. На такую высоту относительно окружающей местности в среднем поднимается поверхность поймы, дно реки. Это весомая «добавка» к характерным (средним, максимальным, минимальным) уровням воды в Амуре. По сравнению с уровнями воды в исторический паводок 1897 г. отметки водной поверхности в 2013 г. (при равных расходах воды) находились на 20 см выше. Дополнительное повышение уровней воды максимально негативно отразилось на безопасности многих населенных пунктов в долине Нижнего Амура, включая крупные города Хабаровск и Комсомольск-на-Амуре [19].

#### ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК УРОВЕННОГО РЕЖИМА АМУРА

В перечисленных условиях возрастает значение оценок уровней затопления в долине Среднего и Нижнего Амура. Несмотря на наличие продолжительных рядов наблюдений (в отдельных случаях до 100 лет), задача не является тривиальной, поскольку отсутствуют однозначные нормативные рекомендации относительно выбора распределения максимальных уровней воды в периоды паводков и половодий. Ряды уровней для большей части освоенных рек неоднородны. Сооружение противопаводочных дамб, дноуглубление, строительство мостов, причалов, добыча нерудных строительных

материалов (песок, гравий) из русловых отложений, застройка поймы, изменение формы поперечного профиля речной долины, увеличение объема отложений вследствие аккумуляции наносов или их размыв, регулирование стока и т. п. способны существенно влиять на отметки уровня поверхности воды в руслах рек [22].

Основной метод анализа возможных изменений уровня в результате антропогенных и других воздействий представляет собой обобщение данных гидрометрических работ и гидрологических наблюдений за различные периоды. Сопоставление зависимостей расходов от уровней позволяет проследить динамику направленных изменений как водности, так и гидравлических характеристик. Для Среднего и Верхнего Амура эта задача весьма сложна, поскольку измерения расходов воды на всем трансграничном участке рек Аргунь, Амур и Уссури до Хабаровска не проводились с конца 1960-х гг.

В нижнем течении Амура функционируют три стоковых поста (г. Хабаровск, г. Комсомольск-на-Амуре и с. Богородское), по которым имеются продолжительные ряды наблюдений.

Статистическая обработка временных рядов максимальных годовых уровней воды показала, что они неоднородны по отношению к их среднему значению. Максимально убедительным этот вывод делает анализ данных, полученных при делении исходных рядов на две выборки в соответствии с точкой «перелома» (здесь 1975 г. — год начала эксплуатации Зейской ГЭС), выделенной с помощью разностно-интегральных кривых. Изменение средних значений уровней воды  $dH$  (приращение максимального уровня, определенное по части ряда после и до точки «перелома») показывает, что наиболее существенные изменения величины  $dH$  характерны для пунктов наблюдений, расположенных в пределах 500-километрового участка р. Амур ниже устья Зеи у Благовещенска. Понижение наивысшего уровня здесь составляет порядка 1 м и более. Влияние Зейской ГЭС на средние значения наивысших уровней воды прослеживается практически на всем участке Среднего и Нижнего Амура.

Коэффициент вариации распределения наивысших уровней в году также существенно изменился за период регулирования стока. Возрастание коэффициента изменчивости на гидропостах Среднего и Нижнего Амура (вплоть до Хабаровска) объясняется существенной ролью защитных дамб, в основном на территории Китая, и прочих гидротехнических сооружений (полузапруд), построенных в русле Амура. Одамбовка русла ограничивает зону руслопойменного водообмена, что определяет рост максимальных уровней в тех частях поймы, где антропогенное влияние отсутствует.

Выявлено, что в период после 1975 г. в результате различных воздействий на уровеньный режим Амура расчетные 1%-е уровни воды изменились по отношению к предшествовавшему периоду.

В районе поста у Благовещенска наблюдается снижение уровней на 50 см и более вследствие регулирующей роли Зейского водохранилища. Ниже по течению влияние водохранилища снижается. Здесь возрастает роль факторов, способствующих увеличению диапазона колебаний уровня воды (создание защитных дамб, аккумуляция наносов, подпор потока разнообразными техногенными объектами и т. п.).

К створу у Хабаровска расчетные уровни воды по отношению к периоду до 1975 г. возросли на 0,5–2 м. Зависимость приращения уровня ( $P = 1\%$ ) от расстояния по длине реки носит нерегулярный характер, что определяется разным интегральным эффектом (масштабом) антропогенных воздействий.

Для восстановления естественных условий формирования уровеньного режима можно осуществить ретрансформацию стока, соответствующего отсутствию антропогенного воздействия на отметки водной поверхности. В полной мере решить эту задачу сложно, поскольку существует дефицит исходных данных. В качестве примера рассмотрим роль регулирующего эффекта Зейского и Бурейского гидроузлов на расчетные расходы Амура у Хабаровска. Для этого используем модель трансформации паводочной волны Калинина–Милокова [23].

Задача восстановления гидрографа стока в створе у Хабаровска в паводок 2013 г. осуществлялась путем трансформации набора входных гидрографов (основных притоков) и сбросов с гидроузлов. Она дополнялась решением аналогичной задачи, в которой сбросным гидрографам стока ниже Зейского и Бурейского гидроузлов соответствуют гидрографы притока вод к этим водохранилищам.

Анализ полученных результатов (табл. 2, рис. 4) показал, что при отсутствии водохранилищ максимальный расход воды Амура у Хабаровска возрос бы на 3400 м<sup>3</sup>/с, что составит дополнительно 50 см к наблюдавшемуся наивысшему уровню воды. Близкие оценки влияния этого фактора на изменение уровней воды в начале участка Нижнего Амура получены в работе [3].

Фактические и расчетные (восстановленные) характеристики паводка 2013 г. у Хабаровска

Варианты гидрографа стока	Фактические данные	Результаты расчетов			
		по фактическим данным входных створов	с заменой сброса Буреи на приток	с заменой сброса Зеи на приток	с заменой сброса Зеи и Буреи на приток
$Q_{\max}$ , м <sup>3</sup> /с	46 400	46 700	48 200	48 300	49 800
Дата формирования $Q_{\max}$	03–04.09	31.08–01.09	31.08–01.09	30.08	30.08
Период ОЯ*, сут	32	32	40	36	42

\* Период ОЯ рассчитывался как длительность формирования расходов более 33 000 м<sup>3</sup>/с, что соответствует уровню 600 см на посту р. Амур–г. Хабаровск.

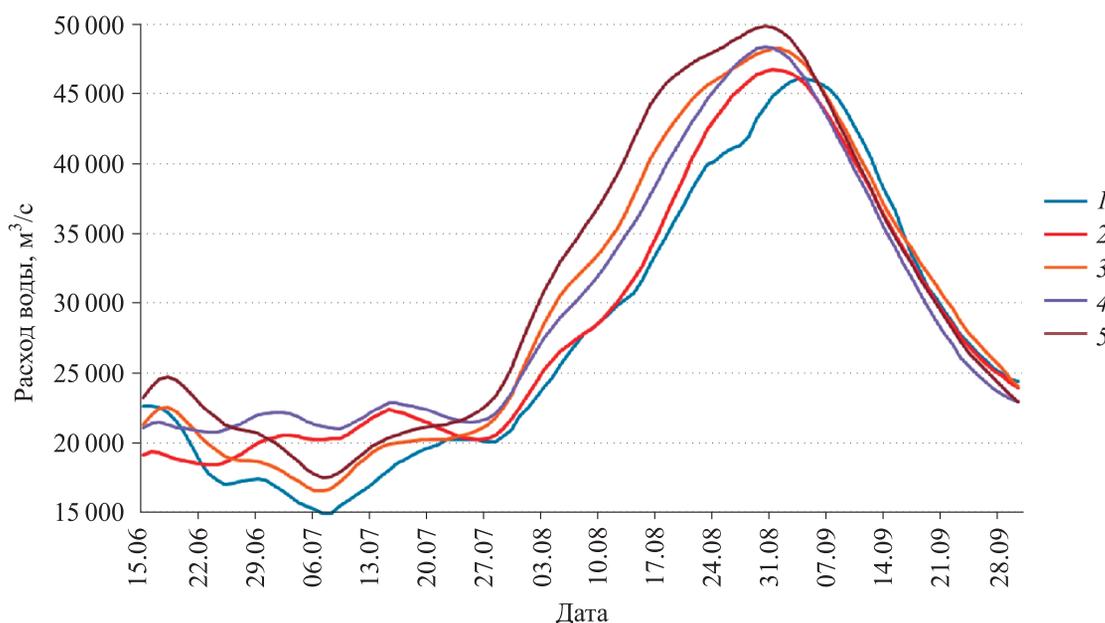


Рис. 4. Фактический и расчетные гидрографы стока летом 2013 г. на посту р. Амур–г. Хабаровск.

1 – измеренные расходы воды  $Q$ ; 2 – величина  $Q$  по методу Калинина–Милюкова и фактическим граничным значениям; 3–5 – расчетная величина  $Q$ : 3 – при замене фактического расхода воды на посту р. Бурей (с. Малиновка) на величину суточного притока воды к Бурейскому водохранилищу, 4 – при замене фактического расхода воды на посту р. Зея (Заречная Слобода) на величину суточного притока воды к Зейскому водохранилищу, 5 – при замене фактического расхода рек Зея и Бурей на величину суточного притока к водохранилищам.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измеренные на водомерных постах уровни воды интегрально отражают эффект влияния всех факторов и процессов в бассейне на высотные отметки водной поверхности. Статистическая обработка данных по уровням воды дает надежные результаты для последующих работ по зонированию территории, проектированию различного рода объектов при учете генетического вклада этих факторов. Анализ уровней воды в среднем и нижнем течениях Амура показал, что имеющаяся нестационарность изменения отметок водной поверхности в основном обусловлена регулированием стока, а также различными видами антропогенного воздействия на состояние русла, поймы и гидравлическое состояние водного потока.

Для проведения гидрологических расчетов рекомендуется разделение ряда данных на статистически однородные выборки и их статистический анализ. Для условий Среднего и Нижнего Амура однородными можно считать выборки данных до и после 1975 г. В этом случае расчеты обеспечат определение фоновых (без заметного антропогенного влияния) значений уровней воды, которые

существовали в бассейне реки до 1975 г., и тех, которые будут характерны в период эксплуатации существующих и проектируемых объектов. Решение такой задачи сильно усложняется при отсутствии данных о режиме стока, морфологических свойствах русла и поймы, особенностях хозяйственного использования водных и иных ресурсов речного бассейна.

На разных участках реки наблюдается зависимость отметок водной поверхности от конкретных факторов и процессов. Ниже впадения Зеи максимальные уровни воды могли бы быть существенно выше при отсутствии Зейского водохранилища. Ниже по течению, в районе Хабаровского водного узла, на относительное повышение отметок водной поверхности влияет накопление наносов в условиях рассредоточения стока воды по рукавам разветвления. Существенное снижение пропускной способности русла на этих участках, в том числе в результате целенаправленных действий по перераспределению стока между рукавами, также способствовало относительному повышению в 2013 г. отметок водной поверхности до экстремальных значений.

Повышенные значения уровней воды во время наводнений после 1984 г. вызвали предположение о возможной роли в этом климатических изменений в регионе. Анализ развития синоптических процессов в паводок 2013 г. показал, что достоверных данных о влиянии изменений климата на причины формирования данного наводнения и его масштабы не выявлено. Выдающееся наводнение 2013 г. было обусловлено комплексом природных и антропогенных факторов, одновременно проявившихся в бассейне Амура.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеевский Н. И., Крыленко И. Н., Беликов В. В., Кочетков В. В. Численное гидродинамическое моделирование наводнения в г. Крымске 6–7 июля 2012 г. // Гидротехн. стр.-во. — 2014. — № 3. — С. 29–35.
2. Болгов М. В., Коробкина Е. А., Осипова Н. В., Бубер А. Л., Логинов В. В., Алексеевский Н. И., Жиркевич А. Н., Белан Е. В., Борщ С. В., Георгиевский В. Ю. Предотвращение катастрофических паводков и обеспечение безопасности территории Крымского района Краснодарского края. — М.: Изд-во Ин-та водных проблем РАН, 2013. — 36 с.
3. Данилов-Данильян В. И., Гельфан А. Н., Мотовилов Ю. Г., Калугин А. С. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценка повторяемости, результаты моделирования // Водн. ресурсы. — 2014. — № 41 (2). — С. 111–122.
4. Дугина И. О., Явкина Е. Н., Агеева С. А., Большешапова О. В., Дунаева И. М., Ефремова Н. Ф., Сальников В. И., Крамарева Л. С., Георгиевский В. Ю., Шальгин А. Л. Выдающееся наводнение на р. Амур в 2013 году и его особенности // Тезисы пленар. докл. VII Всерос. гидрол. съезда. — СПб.: Росгидромет, 2013. — С. 22–25.
5. Гарцман Б. И., Мезенцева Л. И., Меновщикова Т. С., Попова Н. Ю., Соколов О. В. Условия формирования экстремально высокой водности рек Приморья в осенне-зимний период 2012 года // Метеорология и гидрология. — 2014. — № 4. — С. 77–92.
6. Мордовин А. М. Годовой и сезонный сток рек бассейна Амура. — Хабаровск: Дальнаука, 1996. — 73 с.
7. Скорняков В. А. Питание и внутригодовое распределение стока рек юга Дальнего Востока // Геоморфологические и гидрологические исследования. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. — С. 169–178.
8. Стряпчий В. А. Внутригодовое распределение стока рек бассейна среднего Амура и некоторые вопросы его классификации. — М.: Наука, 1979. — 108 с.
9. Бойкова К. Г. Наводнения на реках Амурского бассейна // Вопросы географии Дальнего Востока. — Хабаровск: Хабар. кн. изд-во, 1963. — С. 192–259.
10. Ким В. И. Условия формирования паводков в бассейне р. Амур // Исследования водных и экологических проблем Приамурья. — Хабаровск: Изд-во Ин-та водных и экологических проблем ДВО РАН, 1999. — С. 66–69.
11. Ким В. И. Влияние антропогенных факторов на гидрологический режим нижнего Амура: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. — Хабаровск, 2005. — 23 с.
12. Фролов А. В., Георгиевский В. Ю. Экстремальный паводок 2013 г. в бассейне р. Амур // Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации: Сб. докл. — М.: Изд-во НИЦ «Планета», 2014. — С. 5–39.
13. Gubareva T. S., Gartsman B. I. Flood discharge estimation in the Amur Basin: alternative approach and spatial relations // Flood, from defence to management: Symposium Proceed. of the 3rd Intern. Symp. on Flood Defence. — London: Taylor & Francis Group, 2005. — P. 195–204.
14. Махинов А. Н. Руслые процессы и формирование поймы в условиях устойчивой аккумуляции наносов в долине реки // Геоморфология. — 1990. — № 3. — С. 75–84.
15. Ким В. И. Динамика стока наносов нижнего течения р. Амур // Тез. докл. междунар. конф. «Экологические проблемы бассейнов крупных рек — 4». — Тольятти, 2008. — С. 75.

16. **Чудаева В. А.** Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока. — Владивосток: Дальнаука, 2002. — 392 с.
17. **Makhinov A. N.** Long-term changes in the hydrological regime of the Amur river // Climate variability and human activities in relation to northeast land-ocean interactions and their implications for coastal zone management. — Nanjing, 2004. — P. 117–123.
18. **Многолетние** данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. — Л.: Гидрометеиздат, 1986. — Т. 1, вып. 19. — 412 с.
19. **Махинов А. Н., Ким В. И., Воронов Б. А.** Наводнение в бассейне Амура 2013 г.: причины и последствия // Вестн. ДВО РАН. — 2014. — № 2. — С. 5–14.
20. **Махинов А. Н., Чалов Р. С., Чернов А. В.** Направленная аккумуляция наносов и морфология русла нижнего Амура // Геоморфология. — 1994. — № 3. — С. 70–79.
21. **Чалов Р. С., Шугуан Лю, Алексеевский Н. И.** Сток наносов некоторых крупных рек России и Китая // Вод. ресурсы. — 1999. — Т. 26, № 2. — С. 170–178.
22. **Алексеевский Н. И., Самохин М. А.** Пространственно-временная изменчивость уровней воды в руслах рек // Уч. зап. Рос. гидрометеорол. ун-та. — 2007. — № 5. — С. 21–28.
23. **Калинин Г. П., Милоков П. И.** Приближенный расчет неустановившегося движения водных масс // Труды Центр. ин-та прогнозов. — 1958. — Вып. 66. — С. 66–72.

*Поступила в редакцию 2 апреля 2015 г.*