

УДК 556.535(571.62)

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОДНОГО РЕЖИМА РЕКИ АМУР ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОГНОЗА

Г.В. Соколова

Институт горного дела ДВО РАН,  
ул. Тургенева 51, г. Хабаровск, 680000,  
e-mail: galvadsok@mail.ru

*Амур судоходен на всем протяжении и для Дальневосточного региона имеет важное транспортное значение. В годы с низкими уровнями воды в весенне-летне-осенний период речное судоходство на Амуре терпит большие потери в экономике, снижаются объемы грузоперевозок и нарушается движение пассажирских судов, ухудшается работа водозаборов, затрудняется водоснабжение населения и предприятий. Материальный ущерб в Хабаровском крае иногда соизмерим с ущербом от наводнений. Более чем вековой период наблюдений за режимом Амура у Хабаровска позволил выполнить статистический анализ динамики характерных уровней воды в трех фазах водности: весеннее половодье, летняя межень и дождевые паводки. Климат территории с холодной сухой зимой и теплым влажным летом обуславливает в режиме Амура двойной максимум стока: пониженный весной и высокий летом. Примечательно, что оба максимума стока имеют устойчивую тенденцию понижения в динамике наивысших уровней воды за 1896–2021 гг. Однако высота волны весеннего половодья, в отличие от годовых максимумов, уменьшается в динамике более интенсивно (со скоростью 10–12 см/10 лет и 5–7 см/10 лет соответственно). Наименьшие уровни воды, наблюдаемые после прохождения волны половодья (период летней межени), имеют в динамике многолетний тренд, параллельный «весеннему» тренду. Подобная тенденция в режиме Амура связана с изменчивостью регионального климата и синхронна глобальному потеплению – повышению приземной температуры воздуха, что способствует увеличению испарения с водной поверхности и, следовательно, уменьшению речного стока. Выполненная оценка водного режима Амура в период судоходства дает возможность с помощью трендовых составляющих ориентироваться гидрологу-прогнозисту на распределение водности Амура в предстоящем сезоне.*

**Ключевые слова:** река Амур, весенний максимум, летняя межень, годовой максимум, прогнозная оценка.

**Образец цитирования:** Соколова Г.В. Статистический анализ водного режима реки Амур для целей прогноза // Региональные проблемы. 2022. Т. 25, № 1. С. 49–61. DOI: 10.31433/2618-9593-2022-25-1-49-61.

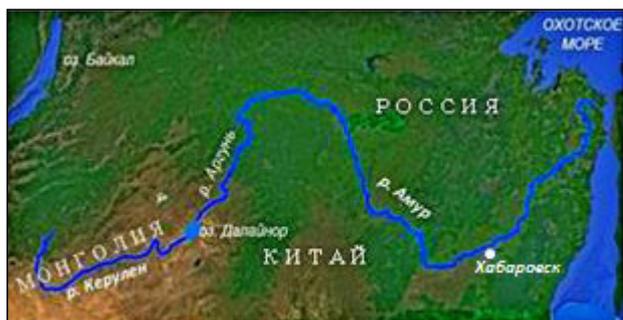
### Введение

Среди крупнейших речных бассейнов мира площадью более 1 млн. км<sup>2</sup> бассейн Амура занимает девятое место [28]. Наиболее удаленная точка Амура – исток реки Керулен, впадающей в Аргунь через оз. Далайнор и протоку Мутная. Протяженность водного пути речной системы Амур от истока р. Керулен до устья Амура составляет 5052 км, общая площадь 2 050 000 км<sup>2</sup> [33]. Впадая в Амурский лиман и Охотское море, Амур входит в десятку самых длинных рек (речных систем) земного шара [23]. Река протекает по территории трех государств – России, Китая и Монголии (рис. 1).

Согласно мировым оценкам, Амур – это единственная река в Северной Евразии, которая имеет отличительную, климатически обоснованную черту годового цикла с двумя максимумами стока. Первый максимум – пониженный, в мае–

июне (половодье за счет таяния снежного покрова и почвенной мерзлоты). Второй максимум – высокий, в августе–сентябре (максимум паводков, вызванный летним сезоном муссонных дождей) [36]. Изменчивость сезонного стока Амура обусловлена положением бассейна в неустойчивом регионе Северного полушария. Здесь сходятся две величайшие геосистемы – континент Евразии и Тихий океан, располагаются зона муссонной циркуляции и переходная климатическая зона от умеренных широт к тропикам.

Амур привлекает внимание к изучению сезонной изменчивости стока как объему пресной воды, стекающей в Охотское море и влияющей на его кислотно-щелочной баланс и, соответственно, на морские организмы. При увеличении частоты маловодий начинаются серьезные последствия для выживания горбуши в самый критичный пери-



**Рис. 1. Географическое положение реки Амур**

**Fig. 1. Geographical position of the Amur River**

од жизни при выходе Амура в Охотское море [3]. Возникают неблагоприятные условия заполнения нерестилищ в бассейне Амура, что сказывается на объемах вылова лососевых [17]. Сток пресной воды из Амура напрямую влияет на соленость морской воды, которая в свою очередь влияет на сроки и толщину морского льда. Это имеет значение для морского рыболовства, разработок по добыче нефти и газа. Как отмечают японские ученые, связь между этими гидрологическими процессами (речной сток – морской лед) имеет отрицательную корреляцию, изменчивость которой возможна под влиянием синоптических процессов [37]. В годы с низкой летней меженью и продолжающимся маловодьем на Амуре страдают пойменные наиболее

продуктивные земли Среднего Амура. Страдают также и водно-болотные угодья, где останавливаются перелетные птицы и гнездятся краснокнижные журавли [41].

Летняя межень как гидрологическое явление имеет практическую значимость. На крупномасштабных топографических картах контуры речных русел очерчиваются по состоянию рек именно в летнюю межень. В этот период водный поток оптимально соответствует очертанию русла, так называемому «меженному руслу реки». Определение уклонов реки на участках русла производят по уровням воды также в период летней межени. При минимальном расходе в летнюю межень отмечается максимальная минерализация воды. Когда питание реки в летнюю межень происходит в основном за счет грунтовых вод, создаются благоприятные условия для изучения естественного гидрохимического состава воды и ее кислотно-щелочного баланса. Обеспечение речного судоходства Амура информацией об ожидаемых уровнях воды в летнюю межень и в период дождей паводков необходимо для определения соответствующих глубин на перекатах и плесах.

Актуальность данного исследования обусловлена увеличением в текущем столетии частоты лет с опасной низкой продолжительной летней меженью и предшествующей экстремально низкой высотой весеннего половодья (табл.). Этому

Таблица

Повторяемость и аномальные значения низких весенних половодий и летних межени  
на Амуре у Хабаровска за 2000–2020 гг. и весь период наблюдений

Table

Frequency and anomalous values of low spring floods and summer low water periods  
on the Amur near Khabarovsk for 2000–2020 and for the entire observation period

Годы	Краткое описание
2000–2003	Впервые (за 124 года наблюдений) четыре года подряд отмечается продолжительная летняя межень с отрицательными уровнями воды в июне и июле у Хабаровска с отметками в пределах от -34 до -127 см.
2003	(1) Экстремально низкое весеннее половодье с высотой волны у Хабаровска 21 см 8 июня (однако в 2008 г. пик половодья был еще ниже). (2) Экстраординарный минимум в начале межени с отметкой у Хабаровска -174 см 1 июня.
2004	Впервые (за 124 года наблюдений) наивысший уровень воды половодья был выше годового максимума более чем на два метра с отметкой у Хабаровска 433 см 2 июня.
2008	(1) Небывало низкое весеннее половодье с высотой волны у Хабаровска 4 см 6 июня. (2) Третья исторически низкая летняя межень (после 1979, 1982 и 2003 гг.) с минимумом у Хабаровска -130 см 10 июля.
2018	Третий исторический (за 124 года наблюдений) минимум в июне (после 2003 и 2008 гг.) с отметкой у Хабаровска -118 см 18 июня.

способствовало отсутствию объективной оценки и долговременной перспективы гидрологических опасностей.

Цель данной работы – исследовать режим Амура в трех фазах: половодье, межень и паводки для прогнозной оценки опасностей, связанных с низкими для судоходства и продолжительными уровнями воды.

### Состояние вопроса

Согласно историческим данным, в Хабаровске еще в военные годы гидрологические прогнозы уровней воды Амура составляли специалисты сектора (затем отдела) гидропрогнозов при «Бюро погоды» Управления гидрометслужбы Дальнего Востока. Здесь долгое время хранилась историческая карта, на которой гидропрогнозисты флажками отмечали места отступлений Красной Армии, а с 1944 г. [21] – освобожденные от фашистов советские города.

В современных климатических условиях на реках преобладающей части России происходят значительные изменения в сезонном распределении стока, в частности, в увеличении меженного стока [32]. Однако речь в этой статье идет только о зимней межени, но не летней, изучаемой нами. Ожидается рост повторяемости высоких половодий, снегодождевых и дождевых паводков. Причем наряду с аномально высокой водностью рек повысится вероятность возникновения «...аномально маловодных лет и сезонов, а также их серий» [там же, с. 75].

Известны результаты исследований стокового и уровенного режимов Амура с целью прогноза, однако изучению летнего меженного стока не уделено внимания. С помощью ансамбля глобальных климатических моделей выполнена оценка возможных изменений стока крупных рек России, согласно которой к середине XXI века ожидаются наиболее значительные увеличения водных ресурсов [14]. Это относится к бассейнам Амура, Енисея, Лены и других крупных рек на северо-востоке страны. В соответствии со сценариями дальнейшего потепления климата на реках в южной части европейской России, по мнению авторов другой статьи [8], предполагается уменьшение годового стока.

Показана возможность изменения стока крупных рек земного шара (включая р. Лену, режим которой сравним с Амуром в фазе дождевых паводков) до конца XXI века [11]. Исследование выполнено на основе взаимодействия подстилающей поверхности суши с атмосферой и с учетом различных моделей общей циркуляции атмосферы

и океана. Ожидается, что к концу XXI века изменчивость годового стока, климатически обусловленная, будет меньше, чем обусловленная «погодным шумом» [там же, с. 85].

Появление новых видов данных, получаемых системами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволяет применить эффективные методы для исследований. Так, в работе [38] выполнена калибровка гидрологической модели в бассейне Амура под влиянием климатических изменений. За 2000–2013 гг. параметры среды формирования стока – поверхностный сток, испарение, атмосферная и почвенная влага, грунтовые воды – обусловили изменчивость сезонного стока Амура. Как отмечают японские ученые в статье о сезонных и межгодовых колебаниях стока Амура, еще недостаточно знаний и публикаций о его гидроклиматических характеристиках [40]. Необходимо по мере увеличения рядов наблюдений продолжить исследования внутрисезонной и межгодовой изменчивости стока Амура под влиянием муссонных изменений.

Зарубежными исследователями выполнена оценка водных запасов 33 крупнейших речных бассейнов мира, рассчитанных по данным измерений гравитационных полей Земли спутника GRACE [36]. Авторы статьи выделяют Амур как одну из немногих рек мира, имеющих положительный тренд водных запасов речного бассейна. Подобная оценка распределения водных масс на суше позволяет проводить анализ баланса континентальных вод, изменчивости климата и окружающей среды.

Наиболее близка к изучению режима Амура разработанная модель воспроизведения суточного типового гидрографа с двумя максимумами стока, в ней в качестве входных данных задавались метеовеличины суточного разрешения [13]. Однако модель имеет те же погрешности расчета сезонного стока по климатическим моделям, которые отмечались ранее другими разработчиками [18]. По сравнению с фактическим стоком Амура модельные гидрографы показывают завышенный сток половодья, заниженный сток годового максимума и глубокую «впадину» между ними в сезон летней межени. Но это противоречит дальневосточному климату с преобладанием малоснежных зим и муссонных дождей. Поэтому гидрологи-прогнозисты Амура в период катастрофического наводнения 2013 г. продолжали пользоваться методами полувековой давности, не имея перед собой более надежных способов, как отмечается в работе [1].

В отдельные годы период понижения меженного стока прерывается рано начавшимися дождевыми паводками. В такие годы прерывистая летняя межень не соответствует критерию Р.А. Нежиховского [8, 19]. Согласно этому критерию, к летней межени относится период низкого стока, в течение которого объём стока не превышает 10–15 % общего годового объёма стока. Об этом сообщается также на web-сайте [15].

#### Материалы и методы исследования

Исследование режима трех взаимосвязанных фаз (половодье, межень и паводки) выполнено по данным гидропоста Хабаровск, учитывается сток крупных притоков Амура – Зеи, Буреи, Сунгари, Усури [20, 21]. Для оценки меженного стока (минимального в июне) использовалась природная закономерность: формирование стока за счет истощения русловых и подземных запасов воды [31]. В этом случае средний расход воды на Амуре у Хабаровска в июне может служить косвенным показателем запасов подземных вод.

Начиная с 1950-х гг. в Дальневосточном территориальном управлении по гидрометеорологии и контролю природной среды (ныне ФГБУ «Дальневосточное УГМС») оперативное обслуживание организаций краткосрочными гидропрогнозами выполнялось под руководством гидрометеоролога

Е.П. Тетерятниковой [24]. Ею разработаны практические способы прогнозирования уровней воды Амура и его притоков, которые нашли отражение в Руководстве по гидрологическому прогнозированию [22]. На разработки Е.П. Тетерятниковой продолжают ссылаться современные исследователи водных проблем Дальнего Востока [6], она включена в соавторы монографии [24]. В настоящем исследовании ее труды относятся к числу базовых по гидрологическому прогнозированию.

В 1960-х гг. Е.П. Тетерятниковой построена «Схема изохрон добегаия системы Амур» (рис. 2), на которой сохранились старинные названия гидропостов, подписанные ею вручную.

На эту схему и по сей день ориентируются гидропрогнозисты хабаровского ГМЦ. Время руслового добегаия (заблаговременность прогноза) между выше- и нижележащими постами на Амуре и притоках определялось нами по совмещенным графикам колебаний уровня воды на приточных и бесприточных участках. Гидропосты на реках, имеющие равные значения времени добегаия элементарного объема воды до замыкающего створа, соединялись (тоже вручную) плавными линиями – изохронами.

Разработки Е.П. Тетерятниковой актуальны и в настоящее время. Так, в период катастрофи-

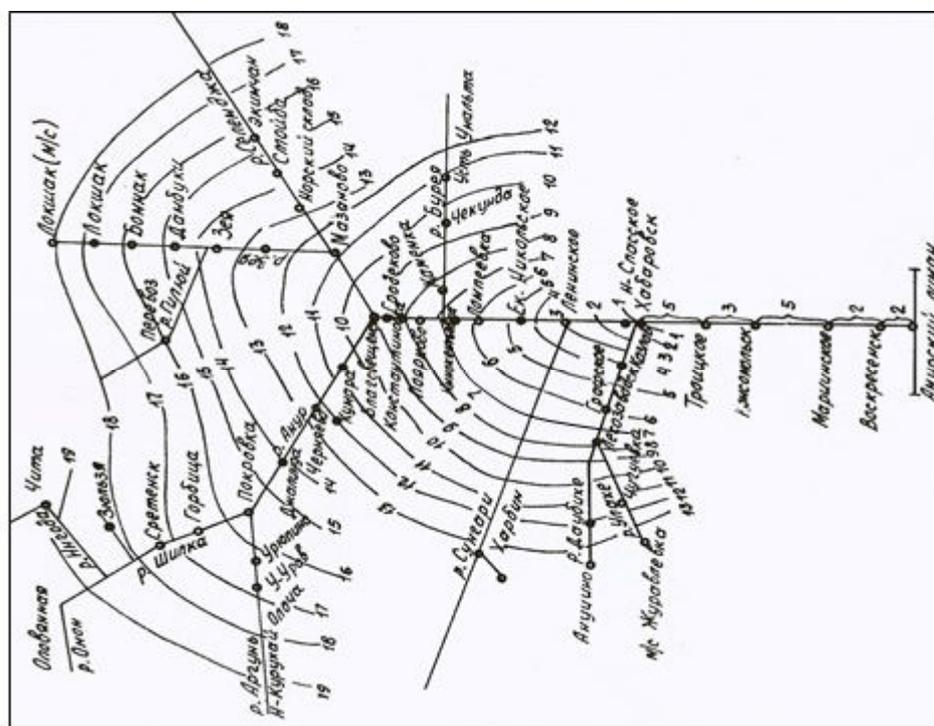


Рис. 2. Схема изохрон руслового добегаия водных масс речной системы Амур

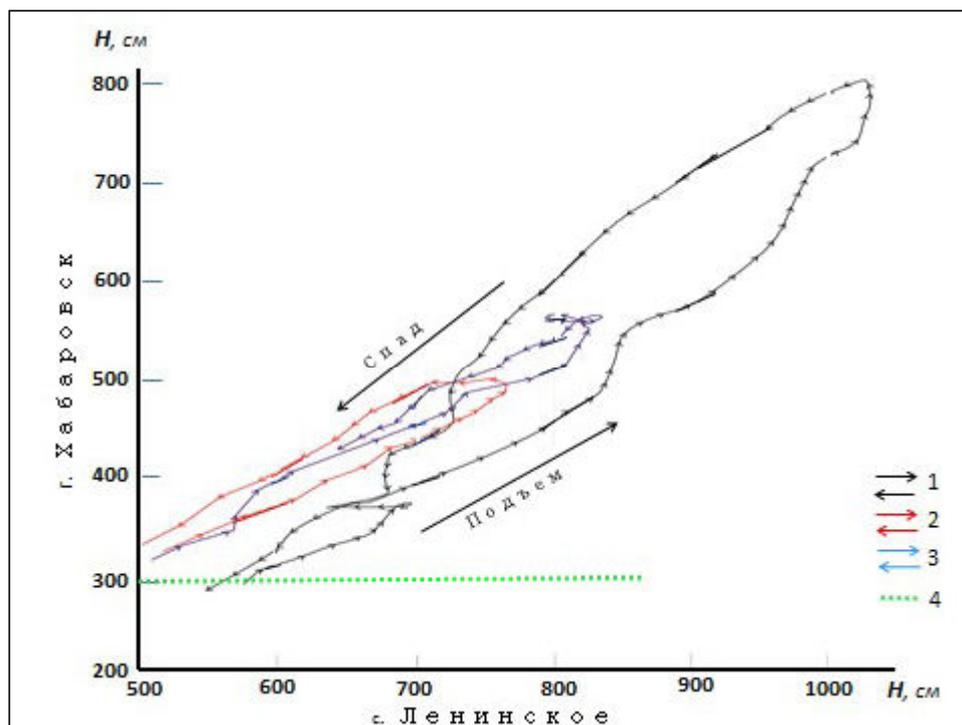
Fig. 2. Scheme of isochrones of the channel run-through water of the Amur River system

ческого наводнения 2013 г. «...специалисты при составлении прогнозов вынуждены были работать вручную, пользуясь графическими зависимостями, не имея аналогов таких паводков в прошлом...» [1, с. 21]. Это были те самые графики соответственных уровней воды, способ построения которых на миллиметровой бумаге большого формата (примерно А1) разрабатывался Е.П. Тетерятниковой в 1960-х гг. На рис. 3 приведен пример такого графика, на который нанесены соответственные уровни воды Амура между постами Ленинское (учитывающим сток Сунгари) и Хабаровск (учитывающим сток Усури). Расстояние между постами 10 934 км, время добегания, рассчитанное Е.П. Тетерятниковой, двое суток. С тех пор и по настоящее время по такой схеме составляются оперативные прогнозы уровня воды Амура у Хабаровска на двое суток. Траектории подъема и спада уровней воды давали ориентир движения при составлении прогноза уровней за период открытого русла. Это особенно важно в период наводнений и паводков,

летних маловодий и межелей.

В настоящее время схема изохрон руслового добегания водных масс многими исследователями автоматизируется, оцифровывается на основе ГИС-технологий. Например, как представлено в разработанной модели тало-дождевого стока, представленной Гидрологическим инженерным центром (Инженерный корпус США) [16].

Исследования выполнены нами в два этапа работ по методу Джона Тьюки [30]: (1) Экспертная оценка с выявлением внутренних закономерностей, так называемый «Разведочный анализ»; (2) Объективная оценка на основе применения численного критерия (метод Нежиховского [17]) и спутниковой информации – «Подтверждающий анализ». Использована гидрологическая база данных о водном режиме Амура, сформированная под руководством Е.П. Тетерятниковой, которая дополнена из гидрологических ежегодников за 1930–1993 гг., (например, [8]), и веб-сайта ФГБУ «Дальневосточное УГМС» [16].



**Рис. 3. Траектории соответственных уровней воды Амура между постами с. Ленинское – г. Хабаровск на подъеме и спаде при затоплении поймы в периоды наводнений: 1 – 2013 г. (период 13 июля – 19 октября); 2 – 2009 г. (период 17 июля – 12 августа); 3 – 1991 г. (период 27 июля – 9 сентября); 4 – выход воды на нижнюю пойму Амура по посту Хабаровск**

**Fig. 3. Trajectories of the appropriate Amur water levels on the inundated floodplain between the Leninskoye - Khabarovsk posts, at rise and fall of water, during the floods: 1 – 2013 (July 13 – October 19); 2 – 2009 (July 17 – August 12); 3 – 1991 (July 27 – September 9); 4 – water outlet to the Amur lower floodplain along the Khabarovsk post**

Использован многолетний ряд наблюдений за уровнями воды – 126 лет (1896–2021 гг.), за сезон летней межени (июнь–июль) – 121 год (1901–2021 гг.). Вначале были рассчитаны нормы (средние многолетние значения) конкретных сроков (месяцев) прохождения данной фазы водного режима и наивысших/наинизших уровней воды в них.

От высоты волны половодья зависит «глубина» летней межени ( $R^2 = 0,61$ ). У Хабаровска длительное понижение стока Амура обычно происходит со второй половины июня по первую половину июля. Для автоматизированной обработки данных мы приняли за продолжительность летней межени два летних месяца (июнь и июль) ( $R^2$  между минимумами в этих месяцах равен 0,54). Для выборки необходимой информации из гидрологической базы данных мы придерживались общепринятой в гидрологии терминологии:

1. Половодье – фаза водного режима с прохождением снегодождевой паводка за период колебаний уровней воды: конец мая – июнь – первая половина июля.

2. Пик волны половодья – наивысший среднемесячный расход/уровень воды (а также срочный уровень воды), которые в 90% случаев (из 123 лет наблюдений) отмечаются в июне.

3. Летняя межень как сезон (июнь–июль) – фаза водного режима между пиками половодья и максимумами дождевых паводков.

4. Максимум дождевых паводков («дождевой» максимум) – наивысший срочный уровень воды в августе–сентябре. (Лишь в 5 случаях за 1901–2018 гг. (4% из 118 лет) дождевой максимум был во второй половине июля и в двух случаях (1926 и 1983 гг.) – в начале октября, однако это не нарушило принцип автоматизированной выборки дождевого максимума в августе–сентябре).

5. Годовой максимум – наивысший срочный уровень воды или наивысший среднемесячный уровень воды за период открытого русла (включая пик половодья, если он был годовым максимумом).

#### **Обсуждение результатов**

Обычно пик весеннего половодья на Амуре у Хабаровска проходит в конце мая – первой половине (или в начале) июня с преобладанием максимума в июне ( $R^2=0,85$ ). Поэтому за оптимальный вариант автоматизированной выборки пика половодья нами принят наивысший уровень воды в июне. Весенние половодья на Амуре относят к снегодождевым паводкам с участием талого стока и частично стока дождевых вод. Высокие снегодо-

ждевые паводки обусловлены, во-первых, значительным увлажнением речного водосбора осенью (за октябрь–ноябрь). Во-вторых, накоплением зимой больших запасов воды в снеге (150–200% нормы) и, наконец, обильными осадками в виде дождя и мокрого снега (в апреле – мае, 150–200% нормы). При этом осадки весной в 1,5–2,0 раза могут превышать осадки зимнего периода. Нередко весеннее половодье проходит вначале при пониженном фоне температуры воздуха, т.е. в условиях неполного участия запасов снега. Затем с последующим резким потеплением вновь возобновляется подъем уровня воды и формируется вторая, более высокая волна половодья.

За более чем вековой период наблюдений за режимом Амура (1896–2021 гг.) в семи годах снегодождевой паводок вызывал наводнение с затоплением средней и высокой поймы Амура у Хабаровска. Из них в трех годах (1902, 1941, 1948 гг.) пики весенних паводков превышали максимум летне-осенних дождевых паводков на 0,1–1,0 м, а в ближайшем 2004 г. – более 2,0 м. Возникновению ранних наводнений на Амуре способствует продолжительное сохранение снега в горах (до конца мая – середины июня). Такие условия обычно складываются при холодной и влажной весне с аномалией температуры воздуха в апреле–мае до  $-(1,0-2,0\text{ }^{\circ}\text{C})$ .

После прохождения волны половодья начинается обычное для Амура понижение уровней воды до начала интенсивных дождей. В бассейне Амура нет выраженной границы начала дождей теплого периода года [29]. Однако, интенсивные осадки, выпадающие в западных районах бассейна Амура (основном водосборе), формируют крупные паводки в горном Верхнем Амуре. Сформированные в условиях горного рельефа, они проходят с исключительной быстротой и в значительной степени определяют высокую водность всего Амура.

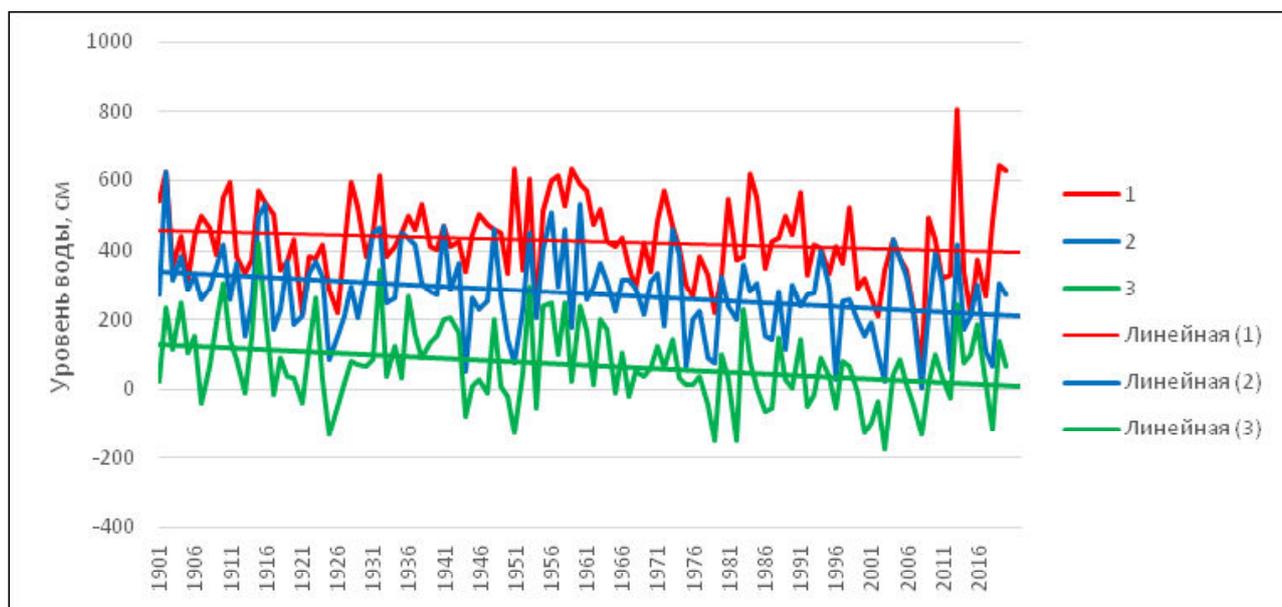
Весной с нарастанием контраста в тепловом режиме северных и южных широт усиливается циклогенез в пределах бассейна Амура. К примеру, даже в апреле температура воздуха в бассейне Сунгари (Центральный Китай, правый приток Амура) может повыситься до  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , тогда как северо-восточные районы бассейна Амура покрыты снегом. В теплых секторах циклонов на бассейн Амура начинают поступать воздушные массы с юга. Весной это довольно сухие массы воздуха, особенно при выносе их из районов Монголии (так называемые «сухие монгольские циклоны» [29]). Затем содержание влаги в них возрастает,

меняется характер процессов по мере прогрева континента, скорость смещения циклонов резко падает.

Условия потепления в период снегонакопления и формирования половодья способствуют уменьшению максимальных запасов воды в снежном покрове основных стокоформирующих горных областей бассейна Амура, в связи с чем по мере уплотнения снега уменьшается его отражательная способность, ухудшаются теплоизоляционные свойства (снег начинает лучше проводить теплоту). Более того, с увеличением дефицита влажности воздуха и притока тепла заметен рост сублимации (испарения) снега. С другой стороны, потепление климата в зимний период способствует уменьшению глубины сезонного промерзания почвы, увеличению инфильтрации влаги в почву в связи с увеличением ее дренирующих свойств. В итоге это приводит к уменьшению поверхностного и увеличению подземного стока в период снеготаяния. Все эти факторы, как следствие потепления климата в бассейне Амура [4, 18, 24, 25], играют ключевую роль в формировании еще более низких весенних половодий на Амуре.

Очевидно, что от режима Амура в фазе половодья зависит величина меженного стока. На это указывает статистическая «мера согласия» между пиком половодья и средним уровнем воды в летнюю межень, коэффициент детерминации  $R^2$ , рассчитанный за 1901–2020 гг., равен 0,74. Однако практически отсутствует влияние талого стока на водный режим после прохождения фазы межени, когда решающая роль принадлежит дождевому стоку. Динамика характерных уровней воды Амура в рассматриваемых трех фазах водного режима (половодье, межень и паводки) имеет отрицательный тренд с 1901 г. по настоящее время (рис. 4). Причем более интенсивное падение тренда наблюдается в динамике минимальных уровней воды в летнюю межень. Коэффициент линейного тренда летней межени, параллельного тренду половодья, равен 120 см/100 лет, что указывает на долговременную, опасную, особенно для судоходства, перспективу водности Амура.

На фоне общей тенденции уменьшения максимумов в фазах «весеннее половодье» и «летне-осенние паводки» проявляется постепенное увеличение разрыва трендов в них. Высота поло-



**Рис. 4. Динамика характерных уровней воды Амура у Хабаровска в трех фазах водного режима за 1901–2020 гг.:**

1 – наивысший уровень воды за период дождевых паводков; 2 – наивысший уровень воды весеннего половодья (июнь); 3 – наинизший уровень воды за период летней межени (июнь–июль). Прямые линии – тренды

**Fig. 4. Dynamics of the Amur characteristic water levels near Khabarovsk, at three phases of the water regime, for 1901–2020:**

1 – The highest water level during the rain floods period; 2 – The highest water level of the spring flood (June); 3 – The lowest water level for the summer dry season (June–July). Straight lines indicate trends

водья с каждым новым десятилетием уменьшается интенсивнее (со скоростью 10–12 см/10 лет), чем максимумы дождевых паводков в августе-сентябре (5–7 см/10 лет). Отсутствие параллельных трендов в динамике максимумов половодья и дождевых паводков (и наличие в системе «половодье – летняя межень») объясняют характерный для Амура двойной максимум стока: пониженный в половодье и наивысший в паводки. Это явление является следствием дальневосточного климата с малоснежной зимой и муссонными дождями.

Начиная с конца 1970-х гг. все чаще повторяются исключительно низкие уровни воды между пиком половодья и дождевым максимумом. Увеличивается частота повторяемости подобных отрицательных уровней воды (ниже нуля графика поста Хабаровск), свойственных обычно зимней межени, а не летней. Причем все чаще это опасное для судоходства гидрологическое явление повторяется несколько лет подряд. Так, аномально многолетний период с «глубокой» летней меженью наблюдался 5 лет подряд: в 1999–2000–2001–2002–2003 гг., а в последнем 2003 г. – экстремально низкий отрицательный уровень воды (-174 см 1 июня). Низкая межень отмечалась и в последующем двухлетии (2007–2008 гг.), затем отдельно в 2012 и 2018 гг.

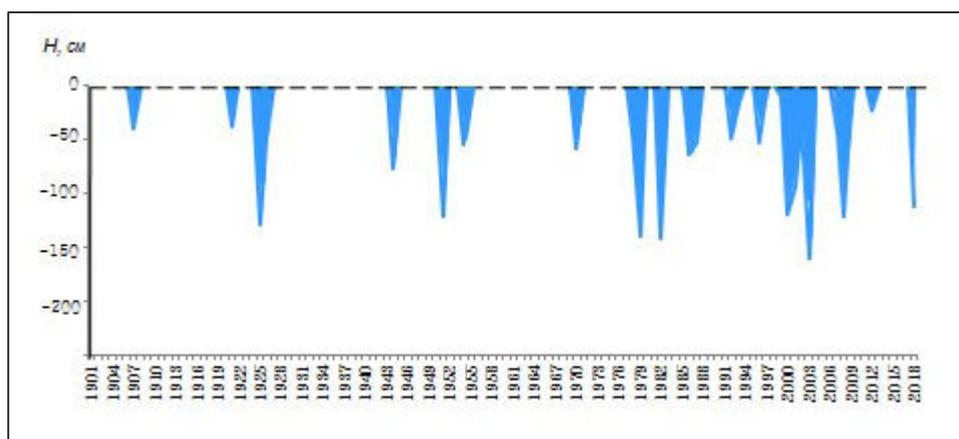
Если рассматривать длительный период наблюдений за предшествующий 81 год (с 1896 по 1977 гг.), то именно продолжительная (в течение июня и июля) межень с отрицательными уровнями воды наблюдалась редко, – всего в четырех годах: 1925, 1926, 1944 и 1951 гг. В то же время низкая

летняя межень в течение двух лет подряд наблюдалась еще реже, всего в одном двухлетии: в 1925 и 1926 гг., в отличие от последующих 43 лет (с 1978 по текущее лето 2021 г.), когда продолжительно низкая межень наблюдалась в двенадцати годах (рис. 5). В те восемь десятилетий режим Амура был естественным, не нарушенным в первую очередь сооружением Зейского водохранилища и его наполнением в 1970-х гг. [4, 39]. Отсюда следует, что менее чем за полвека увеличивается повторяемость низкой и продолжительной межени. Причем наблюдается это опасное для судоходства гидрологическое явление в среднем каждые три года.

#### Выводы

По данным гидропоста Хабаровск с 1896 г. исследован режим Амура в трех водных фазах реки: половодье – летняя межень – дождевые паводки (включая наводнения и летние маловодья) с целью прогноза возможных опасностей для судоходства. Выявлено, что высота половодья в динамике с каждым новым десятилетием уменьшается интенсивно со скоростью 10–12 см/10 лет. В то же время максимумы дождевых паводков, включая наводнения в августе-сентябре, уменьшаются менее интенсивно: 5–7 см/10 лет. Полученные выводы объясняют характерный для режима Амура двойной максимум стока как следствие дальневосточного климата с малоснежной зимой и муссонными дождями.

Безусловно, тенденция понижения водности Амура за более чем вековой период наблюдений связана с изменчивостью климата в бассейне Амура [5, 18, 24, 25]. В целом это синхронно гло-



**Рис. 5.** Годы с продолжительной летней меженью на Амуре у Хабаровска и отрицательными уровнями воды за 1901–2021 гг.

**Fig. 5.** Years with a long summer low-water period and negative water levels for 1901–2021 on the Amur near Khabarovsk

бальному потеплению – повышению приземной температуры, что способствует увеличению испарения с водной поверхности и, следовательно, уменьшению речного стока. На эти же факторы, способствующие изменчивости водных ресурсов на всей территории России, ссылаются авторы статьи [32].

Выполненная оценка режима Амура в период речного судоходства дает возможность гидрологу-прогнозисту с помощью трендовых составляющих ориентироваться на распределение водности Амура в будущем сезоне. С определённой долей вероятности можно предполагать, что подобная тенденция понижения уровней воды в трех фазах режима Амура у Хабаровска будет сохраняться и на следующий год.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Агеева С.А., Бобрикова И.В., Вербицкая Е.М., Ефремова Н.Ф., Романский С.О. Причины и особенности формирования катастрофического наводнения на Амуре летом 2013 г. // Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата: Всерос. конф. V Дружининские чтения: сб. докл. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2014. С. 18–21. URL: <http://iver.as.khb.ru/Meropriya/Foto/2014/V%20Дружининские%20чтения-Сборник.pdf> (дата обращения: 24.02.2022).
2. Амур // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Амур> (дата обращения: 24.02.2022).
3. Белкин И.М. Влияние закисления (ацидификации) океана на морское рыболовство России (аналитический обзор) // Рыбное хозяйство. 2017. № 3. С. 21–32.
4. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Осипова Н.В., Филиппова И.А. Анализ многолетней изменчивости и оценка максимальных уровней воды в условиях увеличившейся антропогенной нагрузки на примере р. Амур // Метеорология и гидрология. 2016. № 8. С. 80–89.
5. Болгов М.В., Трубецкова М.Д., Филиппова И.А. Современные изменения климатических характеристик в бассейне Амура // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года»: сб. тр. Всерос. науч. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. Т. 1. С. 87–93.
6. Бортин Н.Н., Милаев В.М. Исследование многолетней динамики и схема сверхдолгосрочного прогноза наводнений на реке Амур // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2014. № 4. С. 45–59.
7. Георгиевский Ю.М., Коронкевич Н.И., Алексеевский Н.И. Водные ресурсы и гидрологический режим рек РФ в условиях изменения климата // Пленарные доклады VII Всерос. гидрологического съезда. СПб.: ГГИ, 2014. С. 79–102.
8. Государственный водный кадастр. Разд. 1. Поверхностные воды. Сер. 2. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1979 г. Ч. 1. Реки и каналы. Ч. 2. Озера и водохранилища. Т. 9. Вып. 0-5. (Бассейн реки Амур). Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 1981.
9. Гусев Е.М., Насонова О.Н., Ковалев Е.Н., Айзель Г.В. Влияние возможного изменения климата на сток рек, расположенных в разных регионах земного шара // Метеорология и гидрология. 2018. № 6. С. 77–86.
10. Интерактивная карта гидрологической информации // ФГБУ «Дальневосточное УГМС». URL: <http://khabmeteo.ru/cgi-bin/gidrolog.cgi> (дата обращения: 24.02.2022).
11. Калугин А.С. Модель формирования стока реки Амур и ее применение для оценки возможных изменений водного режима: дис. ... канд. геогр. наук. М.: ИВП РАН, 2016. 184 с.
12. Катцов В.М., Говоркова В.А. Ожидаемые изменения приземной температуры воздуха, осадков и годового стока на территории России в XXI веке: результаты расчетов с помощью ансамбля глобальных климатических моделей (CMIP-5) // Труды ГГО. 2013. Вып. 569. С. 75–97.
13. Коцюк Д. Амур – одна из крупнейших рек мира с уникальной ихтиофауной // Звезда Приамурья. 2017. № 4. С. 9–12.
14. Мохов И.И., Хон В.Ч., Тимажев А.В., Чернокульский А.В., Семенов В.А. Гидрологические аномалии и тенденции изменения в бассейне р. Амур в связи с климатическими изменениями // Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации: сб. докл. М.: Росгидромет, 2014. С. 81–120.
15. Межень // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Межень> (дата обращения: 24.02.2022).
16. Модель тало-дождевого стока HEC-HMS (Jonction «G\_DarRiver\_Darivill» Resultse for Run «Event 1996»). URL: <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> (дата обращения: 24.02.2022).
17. Нежиховский Р.А. Руслевая сеть бассейна и процесс формирования стока воды (методиче-

- ские основы и практика прогнозов паводочно-го стока рек). Л.: Гидрометеиздат, 1971. 476 с.
18. Новороцкий П.В. Климатические изменения в бассейне Амура за последние 115 лет // Метеорология и гидрология. 2007. № 2. С. 43–53.
  19. Прямыцын В.Н. Решения Государственного комитета обороны СССР в сфере гидрометеорологии (1941–1945 гг.) // Метеорология и гидрология. 2018. № 5. С. 113–115.
  20. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 1. Верхний и Средний Амур. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 781 с.
  21. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 2. Нижний Амур Л.: Гидрометеиздат, 1970. 592 с.
  22. Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 2. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 247 с.
  23. Самые длинные реки планеты // Блог Inima. URL: <https://inima.org/2016/samye-dlinnye-reki-planet/> (дата обращения: 24.02.2022).
  24. Соколова Г.В. К разработке долгосрочного агроклиматического прогноза опасных для урожайности явлений (на примере Дальнего Востока) // Международный сельскохозяйственный журнал. 2016. № 6. С. 48–53.
  25. Соколова Г.В. Предполагаемый сценарий локальных климатических изменений и их последствия для Амура // Природные ресурсы и экология дальневосточного региона: материалы II междунар. форума. Хабаровск: ТОГУ. 2017. Вып. 2. С. 63–68. URL: [https://pnu.edu.ru/media/filer\\_public/97/a0/97a09ee4-d826-4bfa-b6e9-d17ff0ede6d8/digest-2017.pdf](https://pnu.edu.ru/media/filer_public/97/a0/97a09ee4-d826-4bfa-b6e9-d17ff0ede6d8/digest-2017.pdf) (дата обращения: 24.02.2022).
  26. Соколова Г.В. Тетерятникова Екатерина Панфиловна // Отечественные гидрологи XX в. Историко-биографическое описание: монография / под ред. Д.Е. Клименко. Екатеринбург: Уральский рабочий, 2018. С. 746–748.
  27. Соколова Г.В., Тетерятникова Е.П. Проблемы долгосрочного прогнозирования пожарной опасности в лесах Хабаровского края и Еврейской автономной области по метеорологическим условиям. Хабаровск: ДВО РАН, 2008. 150 с.
  28. Справочные материалы. 20 крупнейших речных бассейнов мира (площадью более 1 млн. км<sup>2</sup>) // География. М.: Первое сентября, 2003. № 37. URL: <http://geo.1september.ru/article.php?ID=200303706> (дата обращения: 24.02.2022).
  29. Тетерятникова Е.П. Проблемы долгосрочных гидрологических прогнозов в бассейне Амура на основе учета аэросиноптических материалов. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 104 с.
  30. Тьюки Джон. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ: пер. с англ. М.: Мир, 1981. 692 с.
  31. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам / сост. Н.Ф. Бефани, Г.П. Калинин. Л.: Гидрометеиздат. 1965. 439 с.
  32. Фролов А.В., Георгиевский В.Ю. Изменения водных ресурсов в условиях потепления климата и их влияние на приток к крупным водохранилищам России // Метеорология и гидрология. 2018. № 6. С. 67–76.
  33. Чрезвычайное положение Хабаровский край. Наводнение 2013 г. // Форум Хабаровска. URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1192178/p1ch24b.html> (дата обращения: 24.02.2022).
  34. Forootan E., Schumacher M., Mehrnegar N., Bezděk A., Talpe M.J., Farzaneh S., Zhang C., Zhang Y., Shum C.K. An Iterative ICA-Based Reconstruction Method to Produce Consistent Time-VARIABLE Total Water Storage Fields Using GRACE and Swarm Satellite Data // Remote Sensing. 2020. Vol. 12, N 10. 1639.
  35. Masuda K., Hashimoto Y., Matsuyama H., Oki T. Seasonal cycle of water storage in major river basins of the world // Geophysical Research Letters. 2021. Vol. 28, N 16. P. 3215–3218. DOI: 10.1029/2000GL012444.
  36. Ogi M., Tachibana Y. Influence of the annual Arctic Oscillation on the negative correlation between Okhotsk Sea ice and Amur River discharge // Geophysical Research Letters. 2006. Vol. 33. N 8. L08709. DOI: 10.1029/2006GL025838.
  37. Semenov E.K., Sokolikhina N.N., Tatarinovich E.V. Monsoon circulation over the Amur basin during periods of catastrophic flooding and an abnormally dry summer season // Russian meteorology and hydrology. 2017. Vol. 42, N 3. P. 141–149.
  38. Shilun Z., Wanchang Z. Calibration and validation of a semi-distributed hydrological model in the Amur River Basin using remote sensing data // Proc. SPIE Vol. 10421, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIX. 2017. 1042104
  39. Sokolova G.V. Analysis of the Amur water regime for the period before the catastrophic flood in 2013 // Russian meteorology and hydrology. 2015. Vol. 40, N 7. P. 477–479.

40. Tachibana Y., Oshima K., Ogi M. Seasonal and interannual variations of Amur River discharge and their relationships to large-scale atmospheric patterns and moisture fluxes // *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. 2008. Vol. 113. D16102. DOI: 10.1029/2007JD009555.
41. Wieland H., Daronja T., Sokolova G.V., Tamaki K. Increased Populations of Endangered Cranes after Amur River Flood // *Waterbirds*. 2017. Vol. 40, N 3. P. 282–288.
- REFERENCES:
- Ageeva S.V., Bobrikova I.V., Verbitskaya E.M., Efremova N.F., Romanskiy S.O. The 2013 Amur River Catastrophic Flood: Causes and Features, in *Vodnye i ekologicheskie problemy, preobrazovanie ekosistem v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata: Vseros. konf. V Druzhininskie chteniya: sb. dokl.* (Water and Ecological Problems, Ecosystems Transformations under the Global Climate Change). Khabarovsk, IVEP FEB RAS, 2014, pp. 18–21. (In Russ.).
  - Amur. *Vikipediya*. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Амур> (accessed: 24.02.2022). (In Russ.).
  - Belkin I.M. Impact of Ocean Acidification on Marine Fisheries of Russia (an Analytical Review). *Rybnoe khozyaistvo*, 2017, no. 3, pp. 21–32. (In Russ.).
  - Bolgov M.V., Korobkina E.A., Osipova N.V., Filippova I.A. The Analysis of Long-Term Variability and Estimation of the Maximum Water Levels Under Conditions of High Anthropogenic Impact for the Amur River. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2016, no. 8, pp. 80–89. (In Russ.).
  - Bolgov M.V., Trubeckova M.D., Filippova I.A. Modern Changes in Climatic Characteristics in the Amur Basin, in *Nauchnoe obespechenie realizatsii «Vodnoi strategii Rossiiskoi Federatsii na period do 2020 goda»: sb. tr. Vseros. nauch. konf.* (Scientific support for the implementation of the «Water Strategy of the Russian Federation for the period up to 2020»). Petrozavodsk: KarRC RAS, 2015, vol. 1, pp. 87–93. (In Russ.).
  - Bortin N.N., Milayev V.M. Examination of the Long-Term Dynamics and the Scheme of Super-Longterm Forecast for Inundation on the Amur River. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problema, tekhnologii, upravlenie*, 2014, no. 4, pp. 45–59. (In Russ.).
  - Georgievskii Y.M., Koronkevich N.I., Alekseevskii N.I. Water resources and the hydrological regime of the rivers of the Russian Federation in the conditions of climate change, in *Plenarnye doklady VII Vseros. gidrologicheskogo s"ezda* (Plenary reports VII Vsros. hydrological congress). St. Petersburg: GGI, 2014, pp. 79–102. (In Russ.).
  - Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Razd. 1. Pov-erkhnostnye vody. Ser. 2. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy. 1979 g. Ch. 1. Reki i kanaly. Ch. 2. Ozera i vodokhranilishcha. T. 9. Vyp. 0-5. (Bassein reki Amur)* (State Water Cadastre. Section 1. Surface waters. Series 2. Annual data on the regime and resources of land surface waters. 1979 Part 1. Rivers and canals. Part 2. Lakes and reservoirs. Vol. 9. Issue 0-5. (Amur River basin)). Obninsk: VNIIGMI-MCD, 1981. (In Russ.).
  - Gusev E.M., Nasonova O.N., Kovalev E.N., Aizel G.V. Possible Climate Change Impact on River Runoff in the Different Regions of the Globe. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2018, no. 6, pp. 77–86. (In Russ.).
  - Interactive map of hydrological information. *FGBU «Dal'nevostochnoe UGMS»*. Available at: <http://khabmeteo.ru/cgi-bin/gidrolog.cgi> (accessed: 24.02.2022). (In Russ.).
  - Kalugin A.S. The Amur River flow formation model and its application to assess possible changes in the water regime. Dissertation of cand. (geogr.). Moscow: IVP RAS, 2016. 184 p. (In Russ.).
  - Kattsov V.M., Govorkova V.A. Expected Surface Air Temperature, Precipitation and Annual Runoff Changes over the Territory of Russia: Projections with an Ensemble of Global Climate Models (Cmip5). *Trudy GGO*, 2013, no. 569, pp. 75–97. (In Russ.).
  - Kotsyuk D. Amur is one of the largest rivers in the world with a unique ichthyofauna. *Zvezda Priamur'ya*. 2017, no. 4, pp. 9–12. (In Russ.).
  - Mokhov I.I., Khon V.Ch., Timazhev A.V., Chernokul'skii A.V., Semenov V.A. Hydrological anomalies and trends in the Amur River basin due to climatic changes, in *Ekstremal'nye pavadki v basseine r. Amur: prichiny, prognozy, rekomendatsii: sb. dokl.* (Extreme floods in the Amur River basin: causes, forecasts, recommendations). Moscow: Rosgidromet Publ., 2014, pp. 81–120. (In Russ.).
  - Mezhen'. *Vikipediya*. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Межень> (accessed: 24.02.2022). (In Russ.).
  - Model' talo-dozhdevogo stoka HEC-HMS* (Jonction «G\_DarRiver\_Darivill») Resultse for Run «Event 1996». Available at: <http://www.hec>

- usace.army.mil/software/hec-hms/ (accessed: 24.02.2022). (In Russ.).
17. Nezhikhovskiy R.A. *Ruslovaya set' basseina i protsess formirovaniya stoka vody (metodicheskie osnovy i praktika prognozov pavodochnogo stoka rek)* (Riverbed network of the basin and the process of formation of water flow (methodological foundations and practice of forecasts of flood flow of rivers)). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1971. 476 p. (In Russ.).
  18. Novorotskii P.V. Climate Changes in the Amur River Basin in the Last 115 Years. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2007, no. 2, pp. 43–53. (In Russ.).
  19. Pryamitsyn V.N. Decisions of the USSR State Defense Committee in the Field of Hydrometeorology (1941–1945). *Meteorologiya i gidrologiya*, 2018, no. 5, pp. 113–115. (In Russ.).
  20. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 18. Dal'nii Vostok. Vyp. 1. Verkhonii i Srednii Amur* (Surface water resources of the USSR. Vol. 18. Far East. Issue 1. Upper and Middle Amur). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1966. 781 p. (In Russ.).
  21. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 18. Dal'nii Vostok. Vyp. 2. Nizhnii Amur* (Surface water resources of the USSR. Vol. 18. Far East. Vol. 2. Nizhny Amur). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1970. 592 p. (In Russ.).
  22. *Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam. Vyp. 2. Dolgosrochnye prognozy elementov vodnogo rezhima rek i vodokhranilishch* (Guide to hydrological forecasts. Issue 2. Long-term forecasts of elements of the water regime of rivers and reservoirs). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1989. 247 p. (In Russ.).
  23. Samye dlinnye reki planet. *Blog Inima*. Available at: <https://inima.org/2016/samye-dlinnye-reki-planet/> (accessed: 24.02.2022). (In Russ.).
  24. Sokolova G.V. Towards the development of a long-term agro-climatic forecast of crop hazards (on the example of the Far East). *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal*, 2016, no. 6, pp. 48–53. (In Russ.).
  25. Sokolova G.V. The assumed scenario of local climatic changes and their consequences for the Amur, in *Prirodnye resursy i ekologiya dal'nevostochnogo regiona: materialy II mezhdunar. foruma* (Natural resources and ecology of the Far Eastern region: materials of the II International. forum). Khabarovsk: PNU, 2017, no. 2, pp. 63–68. (In Russ.).
  26. Sokolova G.V. Teteryatnikova Ekaterina Panfilovna, in *Otechestvennye gidrologi XX v. Istoriko-biograficheskoe opisanie: monografiya, pod red. D.E. Klimenko* (Domestic hydrologists of the XX century. Historical and biographical description: monograph), Klimenko D.E., Ed. Yekaterinburg: Ural'skii rabochii Publ., 2018, pp. 746–748. (In Russ.).
  27. Sokolova G.V., Teteryatnikova E.P. *Problemy dolgosrochnogo prognozirovaniya pozharnoi opasnostivlesakhKhabarovskogokrayaiEvreiskoi avtonomnoi oblasti po meteorologicheskim usloviyam* (Problems of long-term forecasting of fire danger in the forests of the Khabarovsk Territory and the Jewish Autonomous Region by meteorological conditions). Khabarovsk: FEB RAS, 2008. 150 p. (In Russ.).
  28. Reference materials. 20 largest river basins in the world (with an area of more than 1 million km<sup>2</sup>). *Geografiya*, 2003, no. 37. Available at: <http://geo.1september.ru/article.php?ID=200303706> (accessed: 24.02.2022). (In Russ.).
  29. Teteryatnikova E.P. *Problemy dolgosrochnykh gidrologicheskikh prognozov v basseine Amura na osnove ucheta aerosinopticheskikh materialov* (Problems of long-term hydrological forecasts in the Amur basin based on aerosynoptic materials). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1985. 104 p. (In Russ.).
  30. Tukey John. *Analiz rezul'tatov nabljudenij. Razvedochnyj analiz: per. s angl.* (Exploratory data analysis). Moscow: Mir Publ., 1981. 692 p. (In Russ.).
  31. *Uprazhneniya i metodicheskie razrabotki po gidrologicheskim prognozam*, sost. N.F. Befani, G.P. Kalinin (Exercises and methodological developments on hydrological forecasts), Befani N.F., Kalinin G.P., comp. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1965. 439 p. (In Russ.).
  32. Frolov A.V., Georgievskii V.Y. Changes in Water Resources Under Conditions of Climate Warming and Their Impact on Water Inflow to Russian Large Reservoirs. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2018, no. 6, pp. 67–76. (In Russ.).
  33. State of emergency Khabarovsk Territory. Flood of 2013. *Forum Habarovska*. Available at: <http://www.astronet.ru/db/msg/1192178/p1ch24b.html> (accessed: 24.02.2022). (In Russ.).
  34. Forootan E., Schumacher M., Mehrnegar N., Bezděk A., Talpe M.J., Farzaneh S., Zhang C., Zhang Y., Shum C.K. An Iterative ICA-Based Reconstruction Method to Produce Consistent Time-Variable Total Water Storage Fields Using GRACE and Swarm Satellite Data. *Remote Sensing*, 2020, vol. 12, no. 10. 1639.

35. Masuda K., Hashimoto Y., Matsuyama H., Oki T. Seasonal cycle of water storage in major river basins of the world. *Geophysical Research Letters*, 2021, vol. 28, no. 16, pp. 3215–3218. DOI: 10.1029/2000GL012444.
36. Ogi M., Tachibana Y. Influence of the annual Arctic Oscillation on the negative correlation between Okhotsk Sea ice and Amur River discharge. *Geophysical Research Letters*, 2006, vol. 33, no. 8, L08709. DOI: 10.1029/2006GL025838.
37. Semenov E.K., Sokolikhina N.N., Tatarinovich E.V. Monsoon circulation over the Amur basin during periods of catastrophic flooding and an abnormally dry summer season. *Russian meteorology and hydrology*, 2017, vol. 42, no. 3, pp. 141–149.
38. Shilun Z., Wanchang Z. Calibration and validation of a semi-distributed hydrological model in the Amur River Basin using remote sensing data. *Proc. SPIE Vol. 10421, Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XIX*. 2017. 1042104
39. Sokolova G.V. Analysis of the Amur water regime for the period before the catastrophic flood in 2013. *Russian meteorology and hydrology*, 2015, vol. 40, no. 7, pp. 477–479.
40. Tachibana Y., Oshima K., Ogi M. Seasonal and interannual variations of Amur River discharge and their relationships to large-scale atmospheric patterns and moisture fluxes. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 2008, vol. 113, D16102. DOI: 10.1029/2007JD009555.
41. Wieland H., Daronja T., Sokolova G.V., Tamaki K. Increased Populations of Endangered Cranes after Amur River Flood. *Waterbirds*, 2017, vol. 40, no. 3, pp. 282–288.

## STATISTICAL ANALYSIS OF THE AMUR RIVER WATER REGIME FORECAST

G.V. Sokolova

*The Amur is navigable along its entire length, and it has a great transport importance for the Far East region. In years with spring-summer-autumn periods of low water level, the Amur River navigation suffers great economic losses. In such years, the volume of cargo transportation and the movement of passenger ships are disrupted, the work of water intakes deteriorates, and water supply to the population and enterprises is hampered. In the Khabarovsk Territory, material damage is sometimes commensurate with the damage from floods. More than a century of observations of the Amur regime near Khabarovsk made it possible to carry out a statistical analysis of the characteristic water level dynamics in three water phases: spring flood, summer low-water period and rain floods. The territory climate with cold dry winters and warm humid summers determines a dual maximum runoff in the Amur regime, reduced in spring and high in summer. It is noteworthy that both maximum runoffs have a steady downward trend in the dynamics of the highest water levels for 1896–2021. However, the height of the spring flood wave, in contrast to the annual maximums, decreases in dynamics more intensively (at a rate of 10–12 cm / 10 years and 5–7 cm / 10 years, respectively). The lowest water levels observed after the flood wave (summer low water period) have a long-term trend in dynamics, parallel to the spring trend. A similar trend in the Amur regime is associated with the variability of the regional climate and is synchronous with global warming characterized by an increase in surface air temperature, which contributes to an increase in evaporation from the water surface, and therefore, to a decrease in river runoff. The performed assessment of the Amur water regime during the navigation period makes it possible, by means of trend components, to orient the hydrologist-forecaster on the distribution of the Amur water content in the coming season.*

**Keywords:** Amur River, spring maximum, summer low water, annual maximum, forecast estimation.

**Reference:** Sokolova G.V. Statistical analysis of the Amur River water regime forecast. *Regional'nye problemy*, 2022, vol. 25, no. 1, pp. 49–61. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2022-25-1-49-61.