

УДК 502.52:556.1

ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ¹

© 2017 г. М.В. Болгов*, К.Ю. Шаталова*, О.В. Горелиц**, И.В. Землянов**

**Институт водных проблем РАН*

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3. E-mail: k.shat@mail.ru, bolgovmv@mail.ru

***Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова*

Россия, 119034, г. Москва, Кропоткинский пер., д. 6

В статье рассматриваются гидрологические факторы изменения состояния водных экосистем Нижней Волги. Дается общая характеристика проблем изучаемого региона. На основе данных гидрометеорологического мониторинга получены количественные характеристики изменений гидрологического режима водотоков Нижней Волги. Выявлено, что изменения характеристик стока весьма существенны и могут рассматриваться в качестве основной причины деградации водных экосистем изучаемого региона. Для улучшения состояния водных объектов Волго-Ахтубинской поймы рекомендована схема дополнительной подачи воды непосредственно в Ахтубу с помощью специального водовода. Эффективность предложенного подхода исследована методом гидродинамического моделирования.

Ключевые слова: Волго-Ахтубинская пойма, гидрологический режим, речной сток, природные экосистемы, природопользование, водообмен, обводнение.

Волго-Ахтубинская пойма (ВАП), составная часть Нижней Волги, представляет собой уникальный природный объект, особенности функционирования экосистемы которого определяются сезонными и многолетними изменениями гидрологического режима р. Волги, происходящими под влиянием естественных и антропогенных факторов.

Создание Волжско-Камского каскада (ВКК) позволило решить ряд водохозяйственных задач Центральной России, но на Нижней Волге привело к возникновению целого ряда новых проблем.

1. Основная проблема – недостаточное обводнение Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги.

Создание водохранилищ на Волге коренным образом повлияло на экологию Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги. Необходимая для рыбного и сельского хозяйства продолжительность затопления поймы сократилась в 2 раза и обеспечивается только в 35% лет. В маловодные годы складываются особенно неблагоприятные условия для рыбного хозяйства.

Регулирование стока Волги привело к необходимости специальных попусков через Волгоградский гидроузел, но для гарантированного поддержания приемлемых условий нужно корректировать Правила использования водных ресурсов водохранилищ Волжско-Камского каскада в сторону увеличения приоритета условий сохранения водной среды.

2. Проблема водного транспорта.

¹ Представленные в статье результаты получены в рамках проекта «Научное обоснование мероприятий, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов и устойчивое функционирование водохозяйственного комплекса Нижней Волги, сохранение уникальной системы Волго-Ахтубинской поймы», выполнявшегося рядом научно-исследовательских организаций в рамках Государственного контракта от 13 сентября 2013 года №10-ГК/ФЦП-2013 при реализации федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах».

Сегодня на Нижней Волге растет грузооборот, но одновременно наблюдается снижение уровней в районе гидроузла за счет размыва. Для полного обеспечения судоходных глубин в настоящее время требуются расходы воды не менее 5000 м³/с, а их обеспечение связано с повышенной нагрузкой на водохранилища Волжско-Камского каскада.

Необходимо более рациональное вододеление во всей водохозяйственной системе Волги и строительство обязательных гидротехнических сооружений.

3. Проблема пропуска высокого половодья и опасных русловых процессов.

Во время высоких половодий создается угроза затоплений, подтоплений, прорыва дамб и в целом возникновения чрезвычайных ситуаций с неопределенными последствиями, в особенности в пределах дельты Волги.

Большая часть берегов Нижней Волги, включая застроенную территорию Астрахани, подвержена опасности размыва и обрушения береговых склонов. Часто приходится в аварийном порядке выполнять дорогостоящие берегоукрепительные работы в больших объемах. Необходимы превентивные мероприятия, обеспечивающие безопасность селитебных территорий

4. Водохозяйственные проблемы Западных Подстепных ильменей.

С регулированием стока Волги связано ухудшение условий обводнения Западных Подстепных ильменей, примыкающих с запада к дельте Волги, и существенная деградация их состояния. Ильмени усыхают и давно потеряли рыбопромысловое значение, поскольку направляемые на их поддержание финансовые ресурсы сильно ограничены. Перспективным представляется рыбохозяйственный вариант использования ильменей в той их части, которая для этого наиболее пригодна.

5. Проблема водоснабжения и орошения в сельском хозяйстве.

В периоды маловодья наблюдается дефицит воды для питьевого и технического водоснабжения, а также орошения по причине снижения уровней и занесения наносами подводных каналов, особенно в «верховых» районах Волги и Ахтубы. Необходима реконструкция существующих насосных станций и трактов водоподачи.

Изменения гидрологического режима Нижней Волги

Сложность и специфика водно-экологических проблем ВАП и Нижней Волги в целом обусловлена как природными условиями региона, так и несоответствием запросов отраслей экономики природоохранным требованиям при многоцелевом использовании водных объектов.

К природным факторам, влияющим на состояние экосистемы ВАП, можно отнести колебания климата и его направленные изменения на Европейской территории России, динамику режима речного стока на всей территории Волжского бассейна, саморазвитие (эволюцию) ландшафтов, гидрографической сети, биоконплексов и прочее.

Антропогенные факторы подразделяются на глобальные, воздействующие на регион в целом, такие как регулирование режима стока Волги каскадом водохранилищ, и локальные, воздействующие на отдельные участки территории и связанные с разными видами человеческой деятельности: рыболовецким промыслом, земледелием (в т.ч. орошаемым), сенокошением, сбором лекарственных и декоративных растений, выпасом скота, рекреацией, урбанизацией, транспортом, а также со стихийными явлениями в виде пожаров, спровоцированных человеком.

После зарегулирования стока реки Волги с 1961 года изменились характеристики гидрологического режима, влияющие на состояние экосистем на всей территории ВАП. Для оценки изменений рассмотрены данные многолетних гидрологических наблюдений на гидрологическом посту – г/п р. Волга–г. Волгоград, характеризующие гидрологический

режим в вершине Волго-Ахтубинской поймы.

Средние годовые объемы стока Волги в створе у г. Волгограда за период естественного (1881-1956 гг.) и зарегулированного (после 1961 г.) режима стока близки и составляют 255 км^3 и 248 км^3 соответственно, средний за 130-летний период инструментальных наблюдений среднегодовой объем стока составляет 253 км^3 (рис. 1).

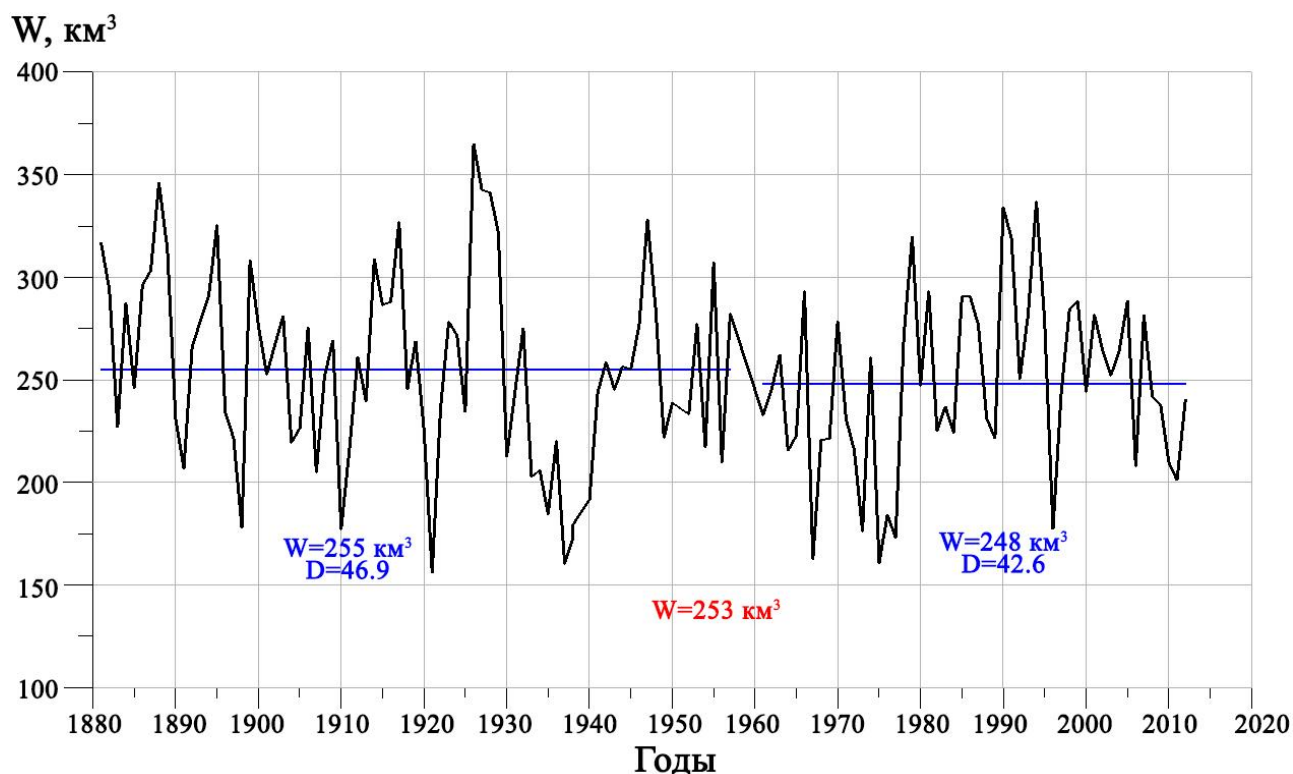


Рис. 1. Многолетняя изменчивость величин годового стока воды р. Волги в створе г. Волгограда за 1881-2012 гг. **Fig. 1.** Perennial changes of the values of the River Volga annual flow in the line of Volgograd during 1881-2012.

Таблица 1. Многолетние характеристики годовых объемов стока воды р. Волги в створе г. Волгограда в естественных (1881-1957 гг.) и зарегулированных (1961-2012 гг.) условиях. **Table 1.** Perennial features of the River Volga annual flow quantity in the natural (1881-1957) and overregulated (1961-2012) conditions.

Годы	Средний объем стока за период	Стандартное отклонение σ	Максимальный годовой объем стока		Минимальный годовой объем стока	
	W, км ³		W, км ³	год	W, км ³	год
1881-1957	255	46.9	389	1926	161	1937
1961-2012	248	42.6	337	1994	169	1975

В целом при близких среднеегодовых значениях годовой сток Нижней Волги в период зарегулированного стока характеризуется несколько меньшей амплитудой межгодовых колебаний и меньшей величиной стандартного отклонения σ (табл. 1, 2).

Разница между максимальными и минимальными значениями годового стока в этот период составляет 168 км^3 , тогда как в естественных условиях она достигала 228 км^3 . Однако в зарегулированных условиях существенно изменилось внутригодовое распределение стока реки Волги в створе г. Волгограда (рис. 2; Горелиц и др., 2010).

Таблица 2. Многолетние характеристики среднегодовых расходов воды р. Волги в створе г. Волгограда в естественных (1881-1957 гг.) и зарегулированных (1961-2012 гг.) условиях.
Table 2. Perennial features of the River Volga annual average water discharge in the line of Volgograd in the natural (1881-1957) and overregulated (1961-2012) conditions.

Годы	Средний расход за период	Стандартное отклонение σ	Максимальный среднегодовой расход		Минимальный среднегодовой расход	
	Q, м ³ /с		Q, м ³ /с	год	Q, м ³ /с	год
1881-1957	8167	1587	12355	1926	5090	1937
1961-2012	8032	1340	10685	1994	5350	1975

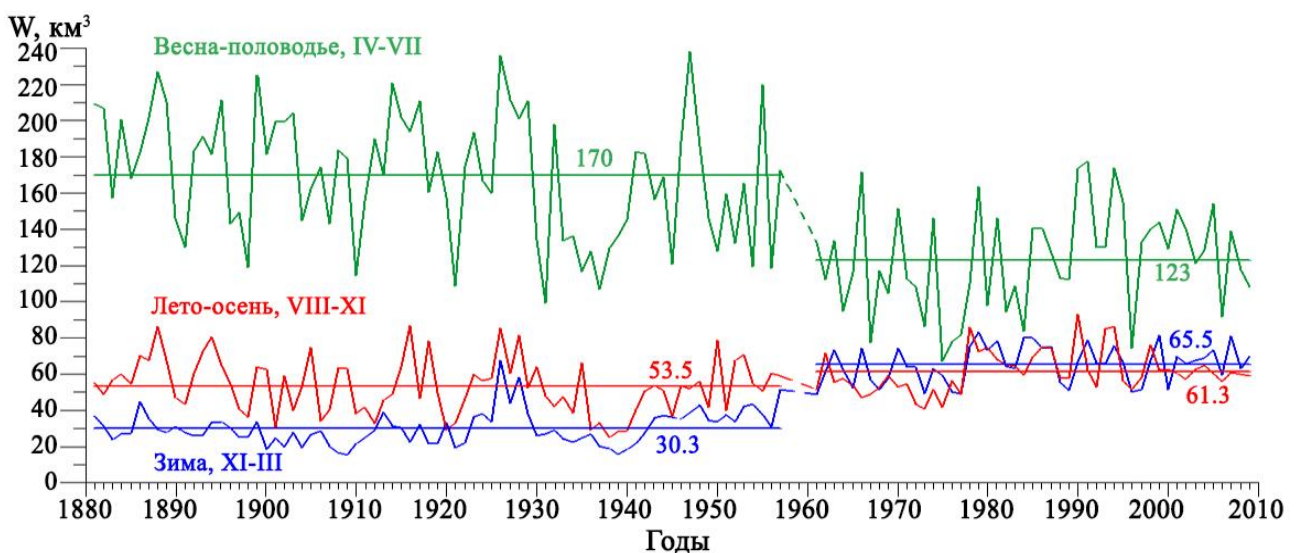


Рис. 2. Внутригодовое распределение стока р. Волги в створе г. Волгограда по сезонам.
Fig. 2. Annual distribution of the River Volga flow in the line of Volgograd by seasons.

Определяющую роль в жизнеобеспечении уникальной экосистемы Нижней Волги, включая Волго-Ахтубинскую пойму, играет половодье (Горайнов и др., 2004; Горелиц, Землянов, 2005). В условиях естественного режима стока период половодья охватывал 4 месяца с апреля по июль, затоплению подвергались обширные территории, на полях проходил нерест и нагул рыбы, гнездование птиц, развитие пойменной растительности и происходило обводнение сельскохозяйственных угодий. В зарегулированных условиях ситуация изменилась.

В период половодья основными параметрами гидрологического режима, определяющими условия жизнедеятельности экосистемы ВАП, являются продолжительность половодья, даты наступления его фаз, интенсивность изменения уровня воды на подъеме и

спаде половодья, высота уровней и значения расходов воды на пике половодья, температуры воды и интенсивность их изменения в период половодья (Горелиц и др., 2010).

По данным многолетних гидрологических наблюдений на гидрологическом посту – г/п р. Волга–г. Волгоград, продолжительность половодья в вершине ВАП сократилась с 95 дней в период естественного режима до 64 дней в зарегулированных условиях (табл. 3), причем основное сокращение произошло на фазе подъема половодья (рис. 3) – его продолжительность уменьшилась на 19 дней (практически в 2 раза).

Таблица 3. Основные параметры гидрологического режима в вершине Волго-Ахтубинской поймы в створе г. Волгограда в естественных и зарегулированных условиях. **Table 3.** The main parameters of the hydrological regime in the highest part of the Volga-Akhtuba floodplain in the line of Volgograd, in the natural and overregulated conditions.

Характеристики	Параметры	Естественный режим	Зарегулированный режим
Продолжительность половодья и его фаз	Половодье	95	64
	Подъем	41	22
	Спад	54	42
Даты наступления характерных фаз половодья	Начало	19.IV	18.IV
	Пик	29.V	11.V
	Окончание	23.VII	22.VI
Характерные отметки уровня воды в половодье	Начало	-9.46	-10.11
	Пик	-3.1	-3.65
	Окончание	-9.46	-10.37
Характерные расходы воды в половодье	Начало	6205	6162
	Пик	28910	26543
	Окончание	5548	5648
Интенсивность изменения уровня	Подъем	15.24	32.95
	Спад	11.76	18.64
Амплитуда изменения уровня	Подъем	614.6	645.9
	Спад	611.3	671.7
Характерные температуры воды в половодье	Начало	2.66	3.44
	Пик	14.76	8.59
	Окончание	22.54	18.39
Амплитуда изменения температуры воды	Половодье	19.87	14.94
	Подъем	12.10	5.15
	Спад	7.77	9.80
Сумма температур воды в половодье	Половодье	1417	711
	Подъем	344	138
	Спад	1074	569

Примечания к таблице 3: цветом выделены наиболее существенные изменения.

Notes to the table 3: the most significant changes are marked with color.

Продолжительность фазы спада половодья уменьшилась в среднем на 12 дней. Причем дата начала половодья в зарегулированных условиях (18.IV) практически не изменилась по сравнению с естественными условиями (19.IV), а пик половодья в зарегулированных условиях в среднем наблюдается 11.V, что на 20 дней раньше, чем в естественных условиях. Анализ показал, что максимальные изменения произошли на фазе подъема. Именно значительное изменение одного из важнейших параметров половодья – продолжительности фазы подъема – повлекло за собой существенные изменения всех рассматриваемых параметров, в том числе интенсивности роста уровня и температуры воды в период половодья, которые во многом определяют состояние экосистем Нижней Волги (Горелиц и др., 2010; Горелиц, Землянов, 2015).

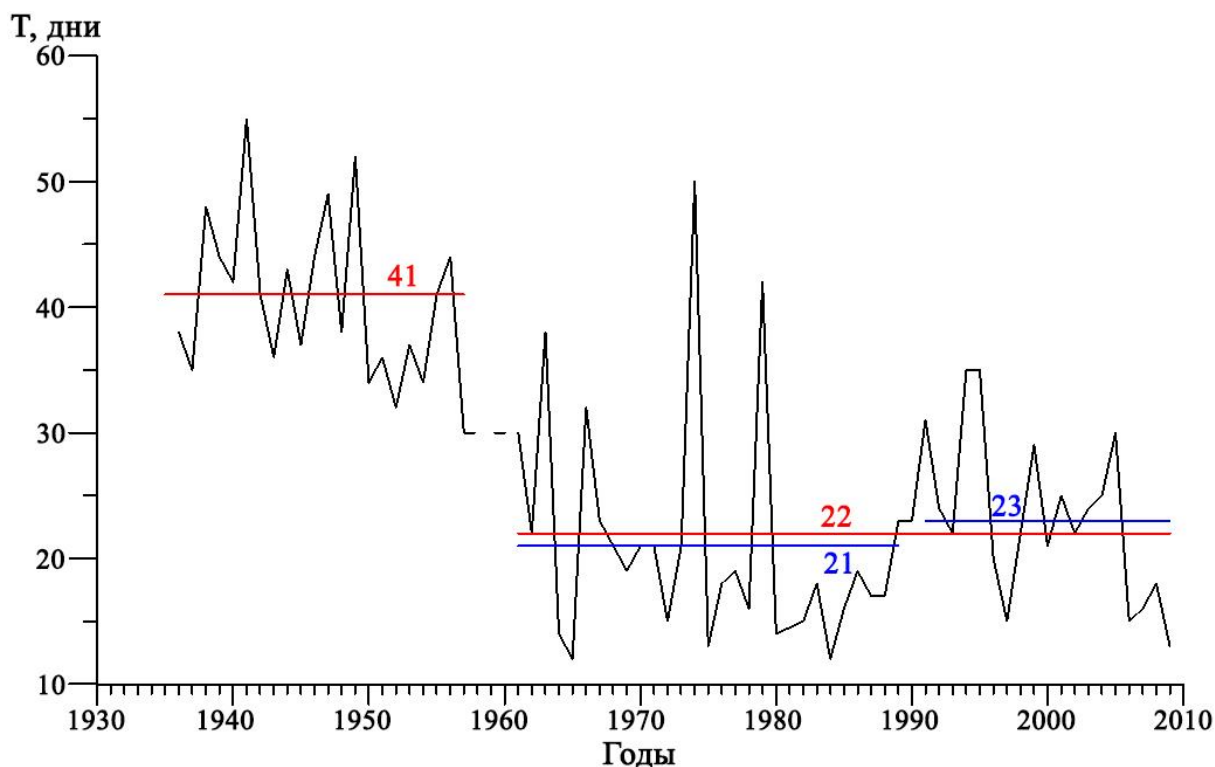


Рис. 3. Продолжительность фазы подъема половодья на Нижней Волге в створе г. Волгограда и средние значения по периодам за 1936-2009 гг. **Fig. 3.** Duration of the extension phase of the high water in the Lower Volga in the line of Volgograd and the average values during 1936-2009.

Характерные отметки уровня воды в период половодья, по данным г/п р. Волга–г. Волгоград, после зарегулирования стока снизились в среднем на 0.65 м по сравнению с периодом естественного режима (Горелиц и др., 2011). Это снижение во многом обусловлено интенсивным размывом русла в нижнем бьефе Волжской ГЭС (Мажбиц, Буланов, 2008; Нижняя Волга ..., 2002). Совмещенные кривые связи уровней по г/п р. Волга–г. Волгоград и расходов воды (сбросов) в нижний бьеф Волжской ГЭС в период зарегулированного режима за 1961, 2010, 2011 и 2012 гг. (рис. 4) показывают, что в последние годы снижение уровней при фиксированных расходах воды проявляется по всей амплитуде колебаний расходов. В меженных условиях при соответственных расходах воды $Q=6000 \text{ м}^3/\text{с}$ снижение уровня воды к 2012 году достигло 1.5 м по сравнению с 1960-ми годами (Горелиц, Землянов, 2013). Для компенсации и поддержания в районе г. Волгограда воды в нижнем бьефе ГЭС меженных

уровней, обеспечивающих нужды транспортной, коммунальной и других отраслей хозяйства, в последние 20 лет расходы воды в предполоводный период повышены в среднем на 30-35% по сравнению с периодом 1961-1980 гг.

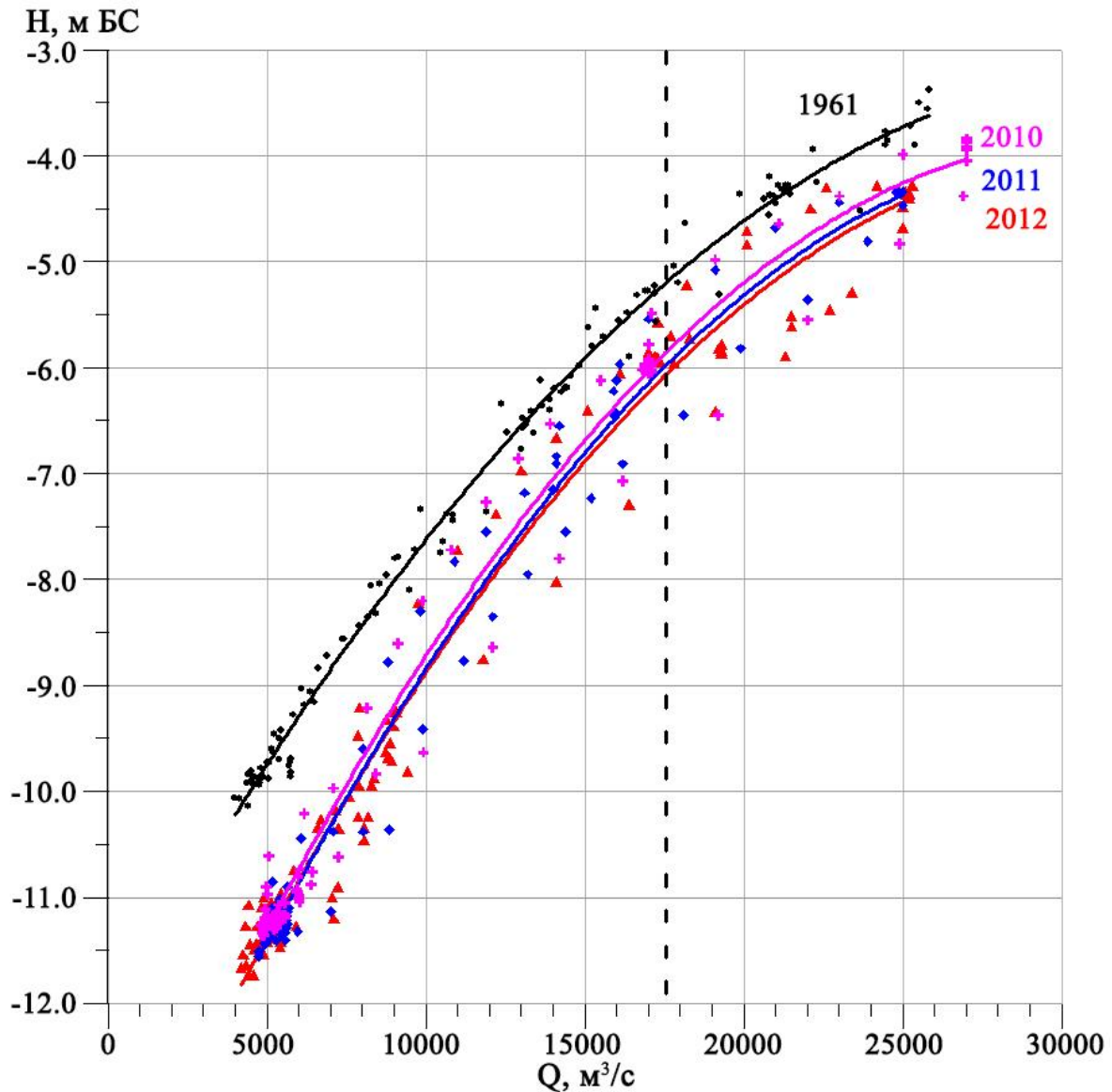


Рис. 4. Кривые связи отметок уровня воды по данным г/п г. Волгоград (H, м БС) и сбросов в нижний бьеф Волжской ГЭС (Q, м³/с) в 1961, 2010, 2011 и 2012 гг. **Fig. 4.** Curves of the connection between the watermarks, according to the Volgograd hydrological station data (H, m BS), and the waste water in the tail water of the Volga Hydroelectric Station (Q, m³/s) in 1961, 2010, 2011 and 2012.

На пике половодья при расходах, равных 25000-27000 м³/с, уровни по г/п р. Волга-г. Волгоград снизились на 0.3-0.4 м по сравнению с началом периода зарегулированного стока. Это приводит к уменьшению поступления воды в русло Ахтубы и в истоки основных водных трактов Волго-Ахтубинской поймы на пике половодья и, как следствие, к устойчивому снижению обводнения территорий поймы в пределах Волгоградской области. Отметки уровня и расходы воды на пике половодья и в конце половодья снизились в

зарегулированных условиях на 10-13% по сравнению с естественными условиями (Горелиц и др., 2011, 2014).

Существенно изменилась интенсивность роста уровня воды в вершине ВАП на фазе подъема половодья (Горелиц, 1994; Горелиц и др., 2010). За счет раннего наступления пика половодья, сокращения продолжительности фазы подъема и увеличения амплитуды роста уровня воды в зарегулированных условиях значение этой характеристики, по данным г/п р. Волга–г. Волгоград, выросло более чем в 2 раза – с 15.34 см/сутки до 32.95 см/сутки (табл. 3). А именно этот элемент гидрологического режима определяет условия прогрева и равномерного поступления воды в мелкую русловую сеть и водоемы Волго-Ахтубинской поймы. Для развития биоценозов Нижней Волги важнейшим параметром гидрологического режима является температура воды в период половодья. Сумма температур за период половодья в зарегулированный период существенно уменьшилась (рис. 5). В естественных условиях среднее многолетнее значение температуры на пике половодья, по данным г/п г. Волгоград, составляло $+14.76^{\circ}\text{C}$, амплитуда роста температуры воды на подъеме половодья в вершине ВАП – 12.10°C . В зарегулированных условиях температура на пике половодья поднимается в среднем до $+8.59^{\circ}\text{C}$, а амплитуда роста температуры составляет всего 5.15°C , сумма температур на подъеме половодья, по данным г/п г. Волгоград, снизилась с 344 до 138 градусов (Землянов и др., 2010).

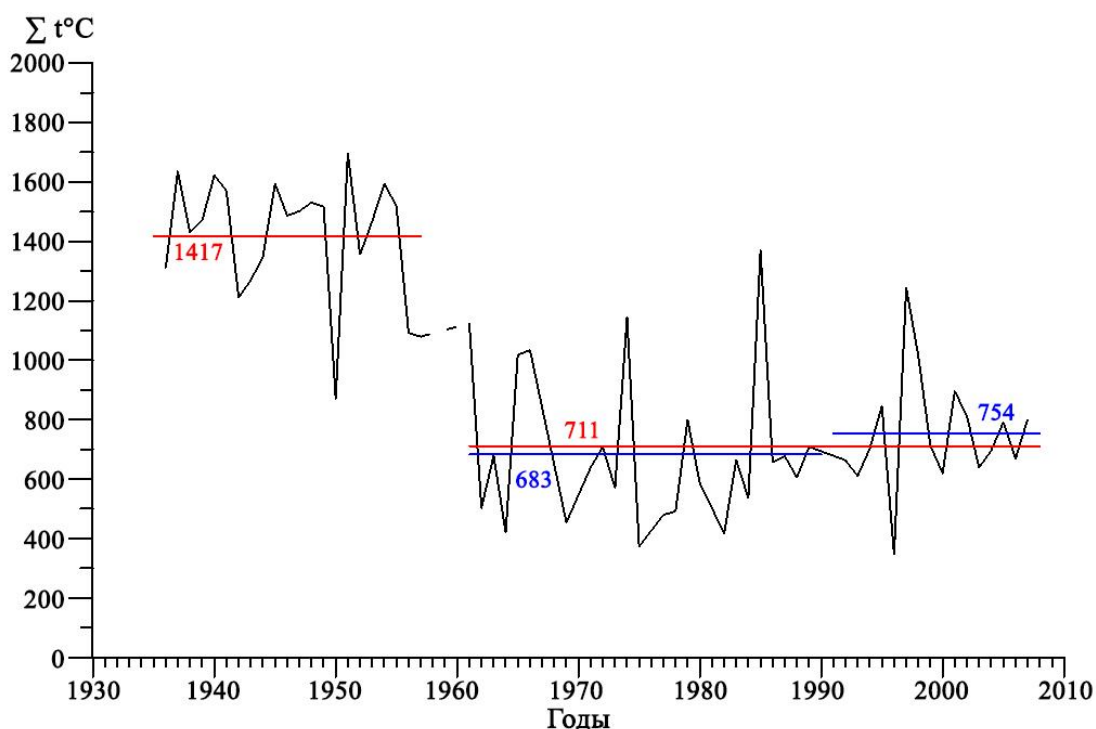


Рис. 5. Сумма температур воды за период половодья по г/п г. Волгоград и средние значения по периодам за 1936-2008 гг. **Fig. 5.** Sum of the water temperatures during the high water, according to the Volgograd hydrological station data, and the average values during 1936-2008.

Кроме показателя интенсивности роста уровня воды, имеющего огромное значение для биоценозов Нижней Волги, также существенна и межгодовая изменчивость параметров гидрологического режима на пике половодья (рис. 6, 7). В естественных условиях объем стока II квартала (апрель-июнь), максимальные расходы воды, высота уровня на пике половодья и продолжительность заливания пойменных территорий менялись от года к году в

широких пределах, обеспечивая условия для существования разнообразных растительных сообществ. В зарегулированных условиях максимальные значения уровней и расходов воды, а также продолжительность пика половодья искусственно приближены к общему среднему значению, и лишь в годы с экстремально низким или экстремально высоким стоком наблюдаются значимые отклонения. Дисперсия значений уровня воды (D_H) на пике половодья в вершине ВАП (г/п г. Волгоград) уменьшилась в три раза – с 1.01 в естественных условиях до 0.36 в зарегулированных. Аналогичные изменения зафиксированы для значений максимальных расходов воды на пике половодья, дисперсия этих величин (D_Q) снизилась с 74.5 в естественных условиях до 42.6 в зарегулированных (Землянов и др., 2010; Горелиц, Землянов, 2013, 2015).

Такие изменения гидрологического режима могут привести в ближайшем будущем к деградации тех растительных сообществ, для существования которых необходимо чередование многоводных и маловодных лет.



Рис. 6. Многолетняя изменчивость стока II квартала (апрель-июнь) в вершине Нижней Волги (в створе г. Волгограда) за 1881-2016 гг. **Fig. 6.** Perennial changes of the second quarter (April-June) flow in the highest part of the Lower Volga, in the line of Volgograd, during 1881-2016.

В естественных условиях средняя продолжительность обводнения верхней части ВАП в период половодья составляла 37 суток, после зарегулирования она снизилась до 23 суток. В благоприятных для обводнения поймы условиях повышенной водности Волги (период 1978-2005 гг.), продолжительность затопления поймы несколько увеличилась за счет длительного периода высоких расходов воды (сбросов) в нижний бьеф Волжской ГЭС. Но посадка уровней воды в русле Волги, по данным г/п г. Волгоград, и заиление входов в основные ерики и рукава, отводящие сток из основного русла на пойму, в последние десятилетия препятствует восстановлению естественной весенней обводненности ВАП (Горелиц и др., 2011; Горелиц, Землянов, 2015).

Несмотря на определяющую роль режима регулирования Волжско-Камского каскада,

существенное значение во внутригодовых изменениях стока имеет и значительное увеличение зимнего притока к водохранилищам ВКК, вызванное тенденциями климатических изменений на Европейской территории России в целом и в бассейне Волги в частности. Наблюдается общее потепление, заметное увеличение стока зимней межени и уменьшение стока весеннего половодья (Водные ресурсы России ..., 2008).

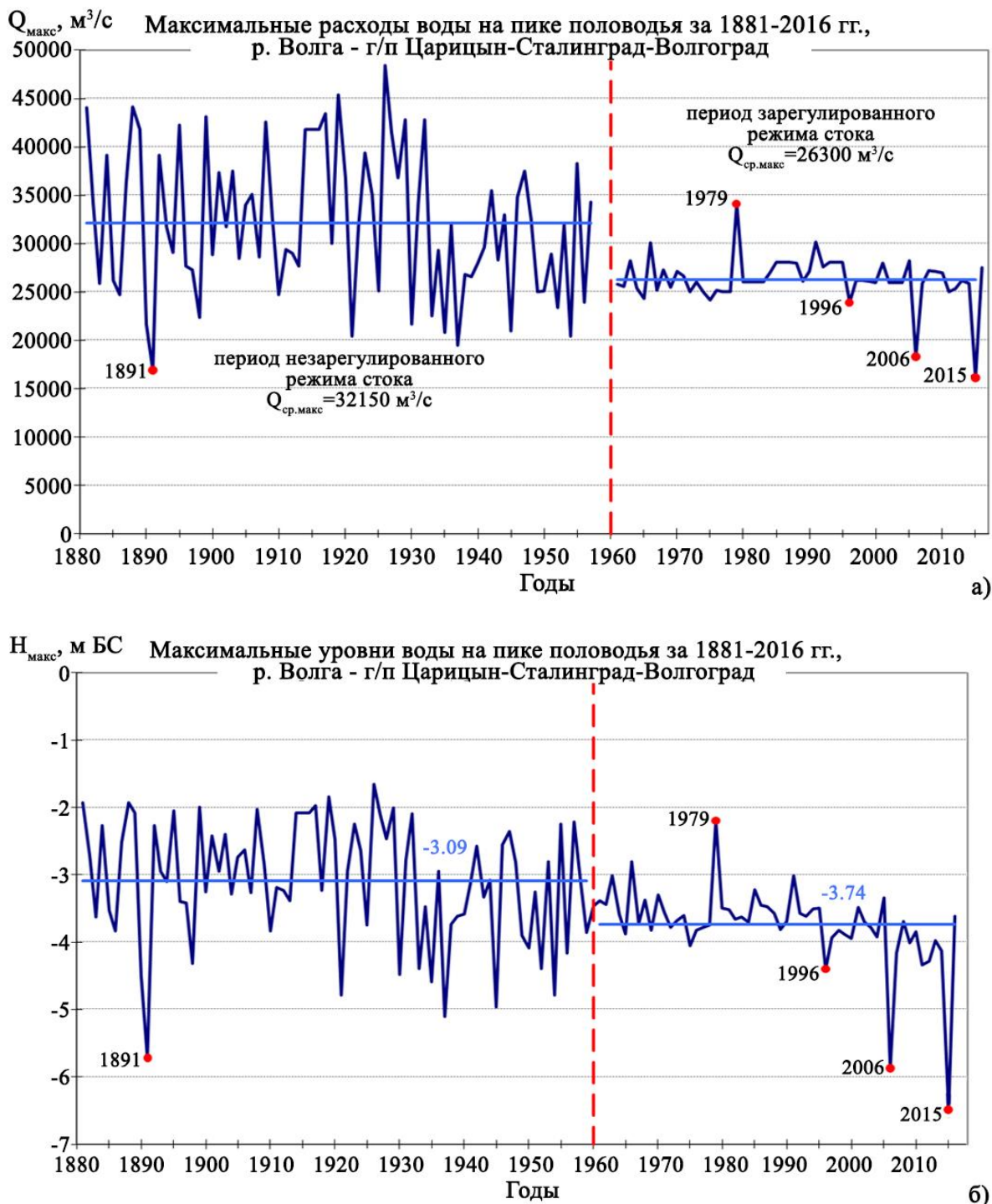


Рис. 7. Многолетняя изменчивость максимальных расходов (а) и уровней воды (б) в вершине Нижней Волги (в створе г. Волгограда) за 1881-2016 гг. **Fig. 7.** Perennial changes of the max water discharge (a) and water level (б) in the highest part of the Lower Volga, in the line of Volgograd, during 1881-2016.

В работе М.В. Болгова с соавторами (2014б) исследовались 122 реки Волжского бассейна с площадью водосбора от 1000 до 25000 км². Такие реки, как правило, дренируют основные водоносные горизонты, свойства колебаний стока отражают физико-географическую зональность, и динамика их стока определяется, прежде всего, климатическими факторами. Авторы делают вывод о том, что характер колебаний минимального стока в условиях климатических изменений может рассматриваться как смена условно-однородных режимов, а распределение даты перехода по территории подчиняется зональным закономерностям в увязке с особенностями гидрогеологического режима бассейнов (рис. 8). Нарушения временной однородности минимальной водности рек климатически обусловлены, а ведущим климатическим фактором изменений является рост зимних температур (рис. 9, 10).

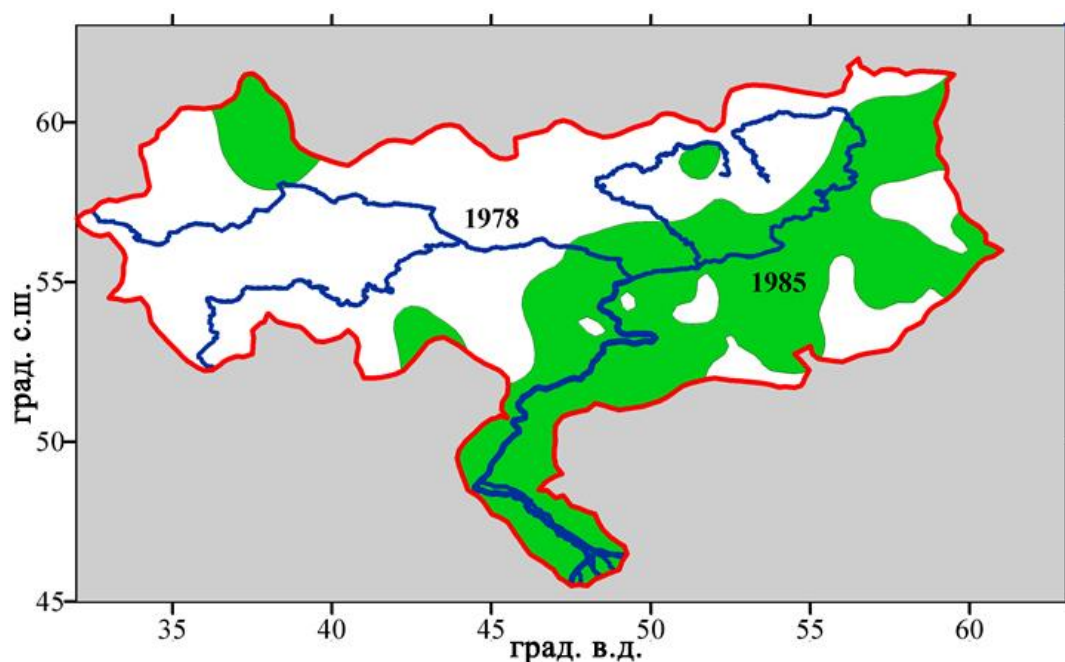


Рис. 8. Распределение по территории бассейна р. Волги даты нарушения стационарности в рядах минимального стока. Условные обозначения: белый фон – 1978 г., зеленый фон – 1985 г. **Fig. 8.** Distribution of the stationarity violations of the minimal flow in the Volga Basin area. Notes: white – 1978, green – 1985.

Количественно и качественно изменились основные параметры ледового режима. Сократилась продолжительность ледовых явлений, наблюдается существенная неустойчивость ледостава, в 30% лет в зарегулированных условиях в русле Волги в районе Волгограда ледостав не наблюдался. Изменения показателей ледового режима Волго-Ахтубинской поймы в многолетнем разрезе определяются как климатическими изменениями, так и условиями регулирования стока.

Произошедшие изменения гидрологического режима бассейна весьма значительны и во многом обуславливают изменения в условиях развития биоценозов Нижней Волги.

Изменение экосистемы поймы в условиях регулирования стока

Изменение климатических условий и зарегулирование стока Волги привело к истощению и обмелению водных объектов Волго-Ахтубинской поймы, сокращению периода

ее затопляемости и обусловило изменение водного, солевого, воздушного режима почв и микроклимата. На участках ВАП, лишенных увлажнения в половодье, происходят процессы остепнения, а в местах близкого залегания уровня грунтовых вод – засоления ранее плодородных почв, что негативным образом отразилось на состоянии дубрав и лесов из других лесобразующих пород (Кузьмина и др., 2015). Низкий окислительно-восстановительный потенциал почв является причиной гибели насаждений в пойме низкого уровня и препятствием для искусственного лесовосстановления. За 35-летний период исследований экосистемы Волго-Ахтубинской поймы класс бонитета лесов уменьшился на 0.6, полнота – на 0.08, а средний прирост – в 1.5 раза. Бонитет дубрав Волго-Ахтубинской поймы снизился значительно – с 1.5 до 2.9 класса. За 35 лет площадь ветляников сократилось в 3.1, а тальников – в 2.5 раза. В случае дополнительного обводнения поймы при восстановлении сети озер и ериков (водотоков) следует ожидать медленного восстановления лесной растительности. Период восстановления лесов – 15-40 лет.

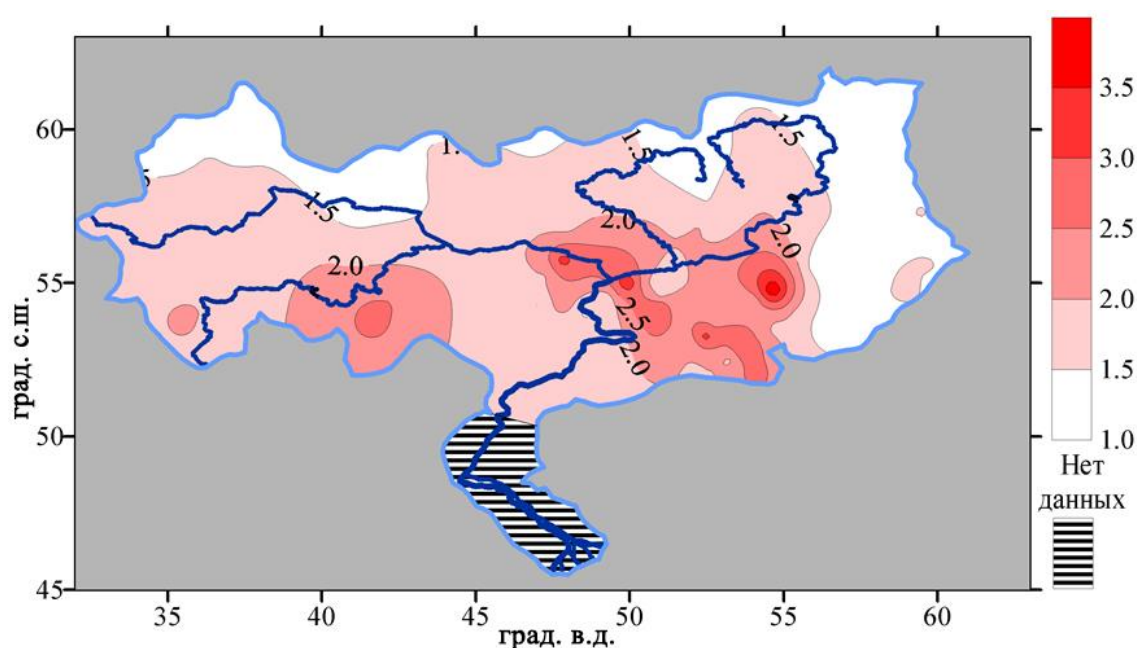


Рис. 9. Изменение минимального стока рек бассейна р. Волги за 1978-2010 гг. (в долях от среднего за предыдущий период). **Fig. 9.** Changes of the minimal rivers flow of the Volga Basin during 1978-2010 (percentage of the average value of the previous period).

Антропогенное воздействие на ВАП связано не только с зарегулированием стока Волги. Экономическая ситуация в конце XX века привела к упадку или полному разрушению территориальных водохозяйственных систем и малых гидротехнических сооружений, обеспечивавших в 1960-1980-х годах обводнение территорий Нижней Волги. Развитые мелиоративные системы, обеспечивавшие потребности агропромышленного комплекса и населения в воде, в настоящее время в основном находятся в нерабочем состоянии. Ослабление или полное отсутствие контроля над сооружением и эксплуатацией малых гидротехнических сооружений на проектных территориях приводит к тому, что последствия их сооружения и/или ликвидации непредсказуемы и временное улучшение ситуации с водообеспеченностью на отдельных участках приводит к ухудшению положения на близлежащих территориях. Локальное изменение местной гидрографической сети дамбами резко ухудшает экологическую ситуацию и способствует развитию процессов иссушения на

обширных площадях, играя подчас главную роль среди разных видов антропогенного воздействия.

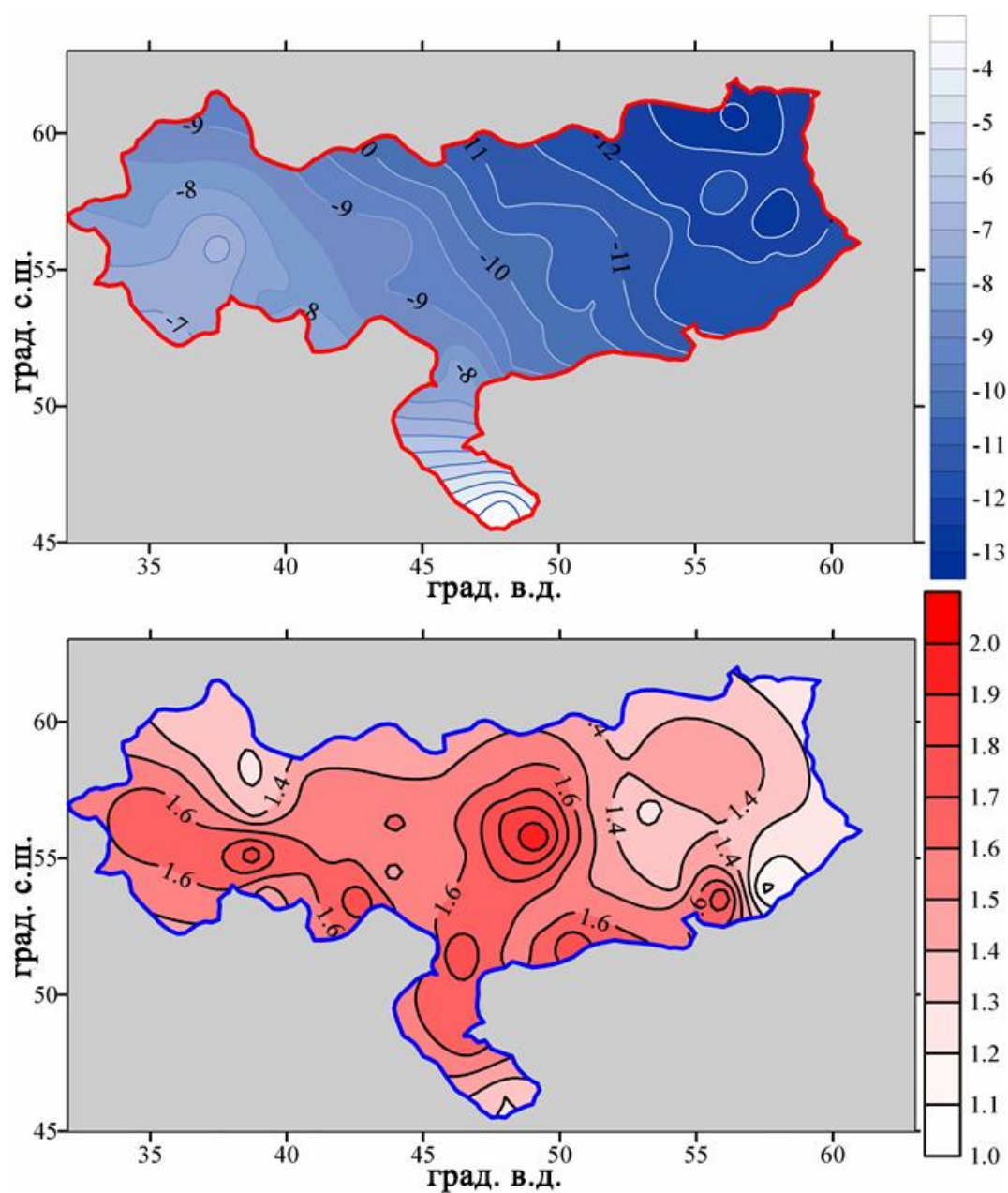


Рис. 10. Средняя температура воздуха ($t^{\circ}\text{C}$) зимних месяцев за 1960-1978 гг. (вверху) и приращения к ней за 1979-2010 гг. (внизу). **Fig. 10.** Average air temperature ($t^{\circ}\text{C}$) of the winter months during 1960-1978 (blue) and its increments during 1979-2010 (red).

В естественных условиях длительное заливание ВАП паводковыми водами создавало практически идеальные условия для воспроизводства здесь пойменно-речной рыбы фитофильной группы, а протоки и основное русло Волги служили естественным миграционным путем для проходных осетровых, сельди, белорыбицы и каспийской миноги. Последствия зарегулирования волжского стока для рыбного хозяйства в Волго-Ахтубинской пойме выразилось, прежде всего, в резком сокращении нерестовых пойменных угодий,

потере многими озерами поймы рыбохозяйственного значения вследствие резкого обмеления и возникновения не только зимних заморов (Вехов, 2009, 2012), но и летних, вследствие ухудшения аэрации воды. В результате сокращения нагульных площадей и замывки (заиления) зимовальных ям и бочагов многие ерики потеряли свое значение в качестве путей выхода рыбы из Волги на пойму в весенний период, а также ее нагула и зимовки. Пойма фактически утратила свое былое значение как идеальный естественный рыбопитомник, где роль мальковых, выростных и нагульных водоемов выполняли временные водоемы – полои и постоянные – озера, ерики, затоны. Из состава пойменного ихтиокомплекса в северной части Волго-Ахтубинской поймы практически выпали наиболее ценные в рыбохозяйственном отношении виды – сазан, сом – и в большинстве водоемов заменены тугорослыми эврибионтами – плотвой, окунем, уклейей, густерой, ершом, а также давшим резкую вспышку численности и ихтиомассы серебряным карасем (рис. 11; Природные комплексы ..., 2011).

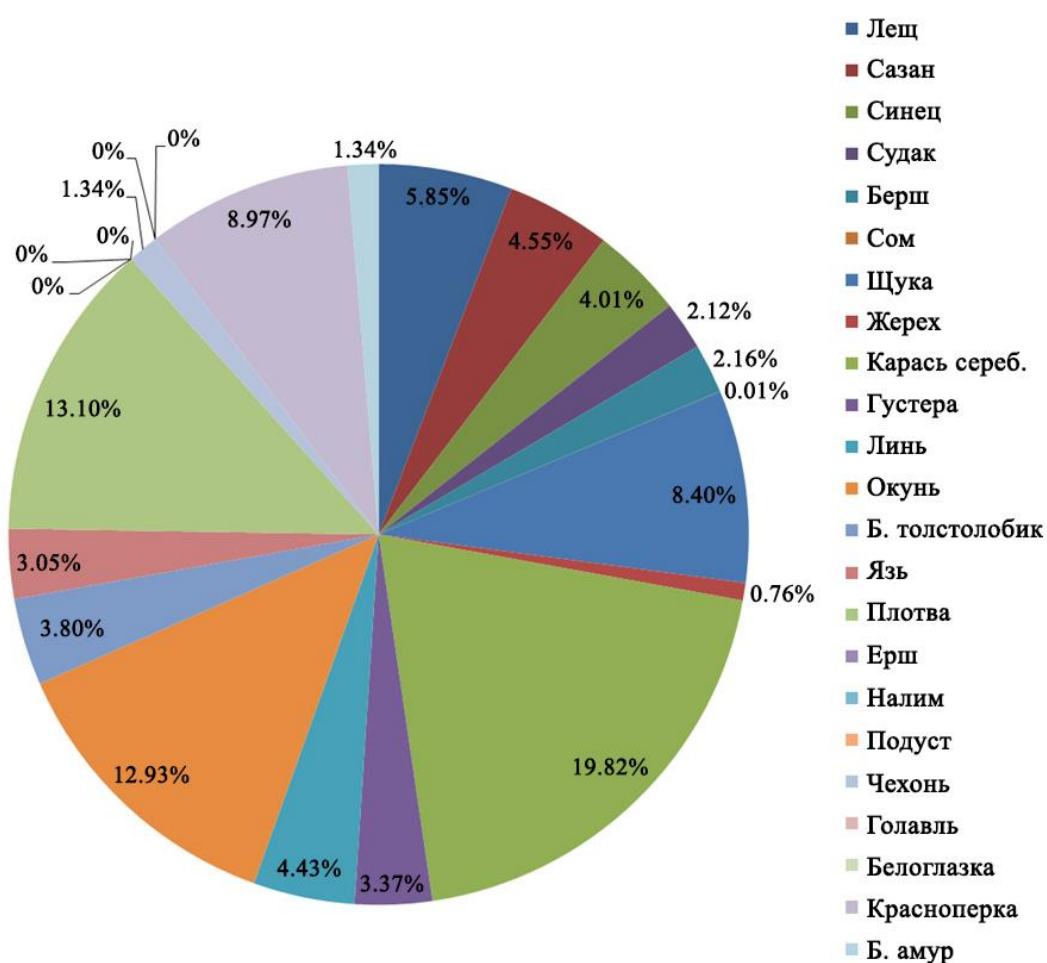


Рис. 11. Видовая структура уловов рыб в водоемах Волго-Ахтубинской поймы в 2010-2013 гг. (Отчет ..., 2014). **Fig. 11.** Species composition of fish crop in the water bodies of the Volga-Akhtuba floodplain during 2010-2013 (Отчет ..., 2014).

Изменение сроков и сокращение длительности половодья снизило значимость Волго-Ахтубинской поймы для водоплавающих птиц-мигрантов, которые стали пролетать через пойму транзитом или изменили основные пути миграций. Усыхание болот и лугов привело к сокращению типичных местообитаний различных уток, куликов, чаек и пастушковых,

особенно коростеля. Общая продуктивность пойменных угодий резко снизилась. Это было обусловлено, прежде всего, исчезновением крупных, колониальных и стайных видов (пеликанов, голенастых, гусей, уток, куликов), вместо которых пойму стали заселять преимущественно мелкие лесные, степные и склерофильные, дисперсно распространенные воробьиные птицы, отличающиеся большей пластичностью, эволюционно продвинутые и легче приспосабливающиеся к новым антропогенным ландшафтам и трансформированным местообитаниям (Землянов и др., 2010). Активная интродукция новых видов из разных групп во многие местные экосистемы, не имеющие достаточной устойчивости, приводит к их трансформации и деградации.

Одним из условий формирования и поддержания биоразнообразия является изменчивость условий окружающей среды. Чередование маловодных и многоводных лет положительно влияет на развитии биоценозов региона, а повторяющийся из года в год единообразный график попуска или устойчивый дефицит влаги в период половодья – негативно. В северной и средней частях Нижней Волги в основном наблюдается ксерофитизация луговой растительности.

В то же время на территории Нижней Волги выявлено некоторое число достаточно устойчивых биоценозов, мало реагирующих на изменения гидрологического режима. Это в первую очередь сообщества макрозообентоса естественных водоемов (Землянов и др., 2010). Более или менее устойчивыми и находящимися на ранних стадиях сукцессии являются водные экосистемы ВАП активно промываемых водоемов – русловых, связанных с руслами или лежащих на пути главных паводковых потоков; они сохраняют крупные размеры, большую или среднюю глубину.

К концу 1970-х гг., после завершения гидростроительства на Волге, водные сообщества, не испытывая более таких сильных стрессов, стали переходить в состояние равновесия, но фактически уже на другом, более низком биопродукционном уровне.

Всесторонний анализ экологического состояния Нижней Волги показывает, что в настоящее время в период зарегулирования стока в регионе сформировалась сложная и в целом относительно устойчивая экологическая система, которая, однако, испытывает возрастающее воздействие прямого локального антропогенного воздействия, а также климатических изменений. Для улучшения ситуации в пределах ВАП необходим комплекс природоохранных мероприятий.

Чтобы сохранить уникальную экосистему ВАП, необходимо увеличить количество поступающей в Ахтубу и водоемы ВАП воды. При этом надо иметь в виду, что ни дноуглубительные работы, ни расчистка русла Ахтубы не помогут направить дополнительный объем воды собственно в пойму. Эти мероприятия, наоборот, способствуют ее осушению, т.к. углубляемые водотоки будут иметь пониженный уровень воды, что приведет к дополнительной сработке запасов воды на пойме, в том числе и разгрузке подземных вод, особенно в маловодные годы.

Особенностью рельефа Волго-Ахтубинской поймы является то, что от начала ее верхней части и до г. Ахтубинска (150-170 км) русло Ахтубы расположено выше русла Волги и существует уклон внутри пойменных водотоков от Ахтубы к Волге (Горайнов и др., 2004). В результате при прохождении весеннего половодья верхняя часть Волго-Ахтубинской поймы заполняется водой, в первую очередь из Ахтубы (Горелиц и др., 2014). Поскольку западная часть поймы, расположенная ближе к руслу Волги, приподнята, то заливание ее в половодье происходит при более высоких уровнях и Волга затопливает лишь небольшую площадь пространства поймы вдоль своего русла (до 6-8 км шириной). К тому же волжские воды существенно раньше и быстрее возвращаются в русло.

Таким образом, один из путей сохранения уникальной экосистемы Волго-Ахтубинской поймы – это увеличение количества поступающей в Ахтубу воды, но не через Волго-

Ахтубинской канал за счет увеличения сбросных расходов, а по специальному водоводу непосредственно из Волгоградского водохранилища (Болгов и др., 2017). При такой схеме создается основа для регулирования подачи воды в реку Ахтубу и, соответственно, в Волго-Ахтубинскую пойму в любой период года и в нужном режиме. Создадутся возможности для контроля над состоянием водоемов поймы (водность, уровень, температурный режим, химический состав воды и другие).

Гидродинамическое моделирование водотоков Нижней Волги

Исследования реализуемости и эффективности различных мероприятий, направленных на улучшение состояния водных объектов, проводились с помощью гидродинамической модели Нижней Волги, созданной в Институте водных проблем РАН на базе программного продукта “SOBEK”, разработанного Делфтской гидравлической лабораторией (Голландия; Sobek-rural ..., 2004; Болгов и др., 2014a).

Общая структура гидродинамической модели (рис. 12) охватывает территорию от плотины Волжской ГЭС до побережья Каспийского моря. В структуру модели включены все основные рукава рек Волги и Ахтубы, протоки Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги, ширина которых в период межени превышала 20-25 м, и существующие гидротехнические сооружения. Более детально моделировались участки Волго-Ахтубинской поймы в пределах Волгоградской области (рис. 13).

В структуре модели учтены важнейшие протоки Волго-Ахтубинской поймы как постоянно действующие, так и пересыхающие, отражена система ериков, составляющих Каширинский и Краснослободский тракты на верхнем участке ВАП в пределах Волгоградской области. В тех случаях, когда у водотока отсутствует постоянная связь с основным руслом, параметры поперечных сечений назначались так, чтобы вода поступала туда только в половодье. Для учета механизмов пойменного регулирования в структуру модели введены дополнительные емкости (на рисунке 13 – желтые круги), в которых вода на подъеме половодья накапливается, а затем сбрасывается в основное русло. Кроме того, в модели учтены гидротехнические сооружения как существующие, так и планируемые: Волжский вододелитель, регулирующие сооружения, насосные станции, трубчатые переезды, мосты и прочее. В структуру модели включались мосты (не понтонные), расположенные на постоянно действующих водотоках и водопропускные трубы диаметром больше 1 м (на пересыхающих руслах), дамбы учитывались путем соответственного увеличения высоты берегов рек и водотоков.

Для подачи воды непосредственно в водотоки Волго-Ахтубинской поймы в структуру модели дополнительно введены 4 насосные станции (рис. 13).

В модели задействовано 67 граничных узлов: 3 входных, через которые моделируется водоподача – сброс через Волжскую ГЭС, сброс воды от шлюзования и дополнительная подпитка в русло р. Ахтубы (рис. 13), в них граничные условия описываются расходами, м³/с; 64 выходных, расположенных в устьях рукавов дельты Волги и определяющих условия поступления воды в Каспийское море. Граничные условия в этих точках задаются уровнем воды (м абс.).

Возможные режимы водоподачи исследовались на примерах лет различной водности. Более подробно остановимся на ситуации 2006 года. Весеннее половодье было очень маловодным, суммарный объем стока за половодье – 51.8 км³, обеспеченность наивысших расходов (18300 м³/сек) через Волжскую ГЭС составила 99.4%, в целом по 2 кварталу Р=87%, а продолжительность периода половодья составила 41 сутки. Режим регулирования сбросов, по мнению местных специалистов, был для Волго-Ахтубинской поймы крайне неудачным (Горайнов и др., 2007).

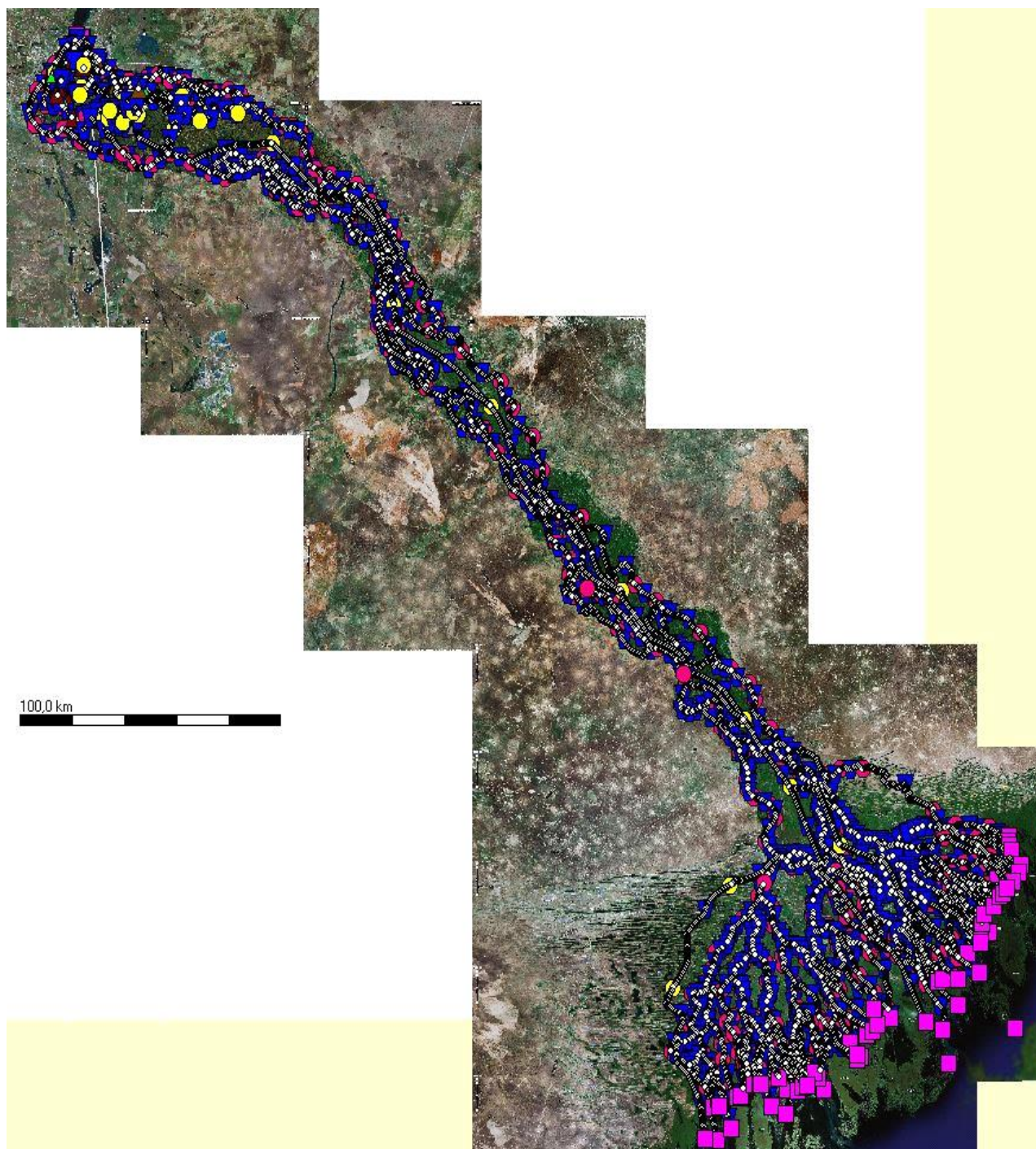


Рис. 12. Топографическая схема гидравлической модели Нижней Волги. *Условные обозначения к рисункам 12 и 13:* розовые квадраты – граничные узлы (входные и выходные), красные круги – назначенные расчетные узлы, синие треугольники – поперечные сечения, желтые круги – емкости с последующей отдачей воды, зеленые треугольники – вододелители, коричневые треугольники – насосные станции, белые точки – автоматические расчетные точки, соединительные линии – участки рек и каналов. **Fig. 12.** Topographic scheme of the Lower Volga hydraulic model. *Legend to the figures 12 and 13:* pink squares – entry and exit boundary nodes, red circles – set checkout nodes, blue triangles – cross section, yellow circles – reservoirs with the following water return, green triangles – water divider, brown triangles – pumping station, white dots – automatic checkout points, lines – rivers and channels.

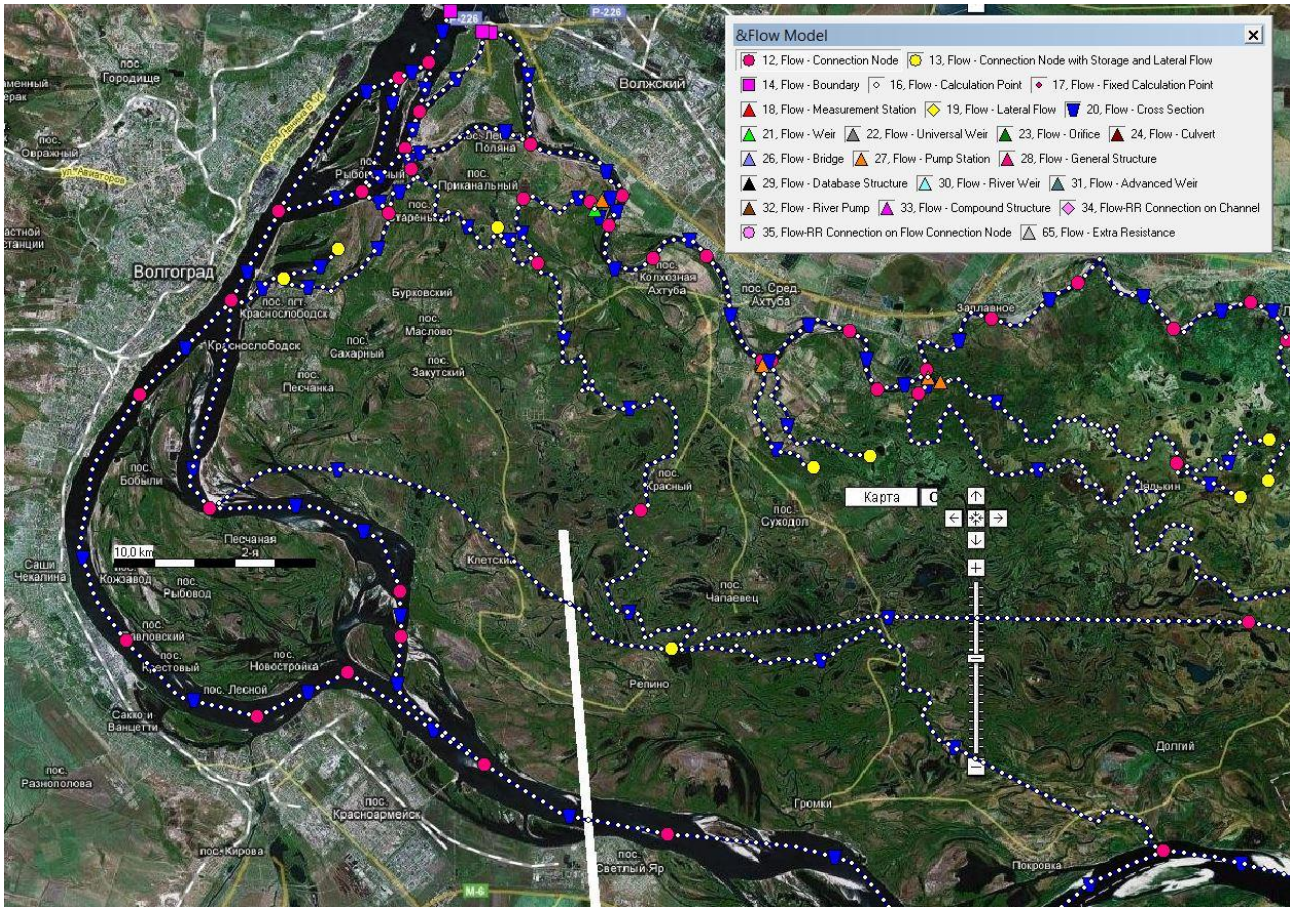


Рис. 13. Фрагмент топографической схемы гидродинамической модели (Волгоградская область). **Fig. 13.** Part of the topographic scheme of the hydrodynamic model in the Volgograd Region.

Подача воды в русло Ахтубы реализовывалась в модели на спаде волны половодья при расходах в нижнем бьефе ГЭС около $15000 \text{ м}^3/\text{сек}$ и продолжалась с 15 мая 2006 года до 4 августа. Изучалось эффективность нескольких вариантов подачи воды в русло р. Ахтубы. Следует отметить, что только за счет дополнительной подкачки воды в Ахтубу изменить форму гидрографа весеннего половодья кардинальным образом не удастся. Продолжительность половодья не увеличивается, а высота уровня при максимальном варианте водоподачи ($500 \text{ м}^3/\text{сек}$) увеличивается примерно на 0.5 м, поскольку, как было отмечено выше, происходит разгрузка вод Ахтубы в Волгу. Рисунок 14 иллюстрируют тезис о перетоке воды из Ахтубы в Волгу при дополнительной подаче в нее воды. Через месяц после начала подкачки (13 июня) на спаде половодья начинается сток воды из Ахтубы в Волгу, который заканчивается 6 августа, то есть практически одновременно с ее окончанием. На рисунке приведен гидрограф в расчетной точке в начале канала у реки Ахтубы.

Для реализации схемы, учитывающей предотвращение оттока воды через Волго-Ахтубинский канал, в модель был включен дополнительный узел, моделирующий работу регулирующего сооружения (вододелителя). Регулирующее сооружение в Волго-Ахтубинском канале моделировалось плоским затвором шириной 200 м, который закрывается на спаде половодья, а после окончания подкачки – открывается. Начало работы сооружения зависит от соотношения уровней воды в Волге и Ахтубе. Из рисунка 15 видно, что подобная схема водоподачи может существенно продлить стояние воды на пойме.

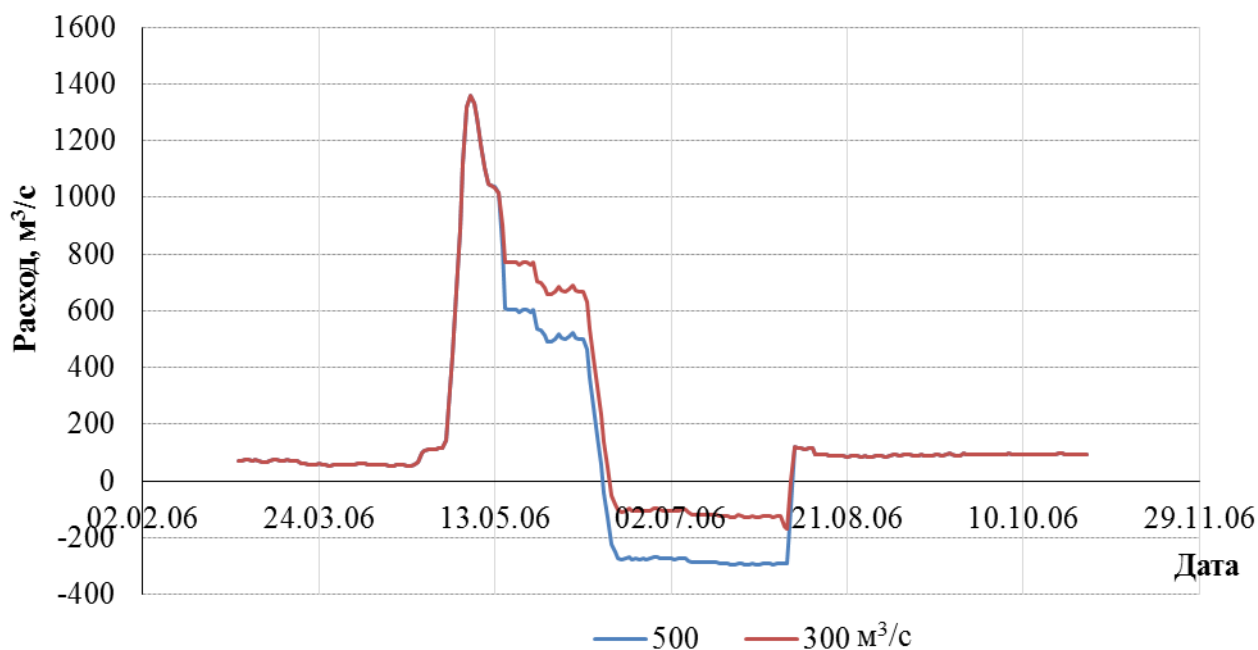


Рис. 14. Модельный гидрограф расходов воды в Волго-Ахтубинском канале у р. Ахтубы по расчетам водности за 2006 г. с дополнительной подкачкой 300 и 500 м³/сек. **Fig. 14.** Model hydrograph of the water discharge in the Volga-Akhtuba channel near the River Akhtuba, according to the hydraulicity calculations during 2006, with the extra pumping of 300 and 500 м³/sec.

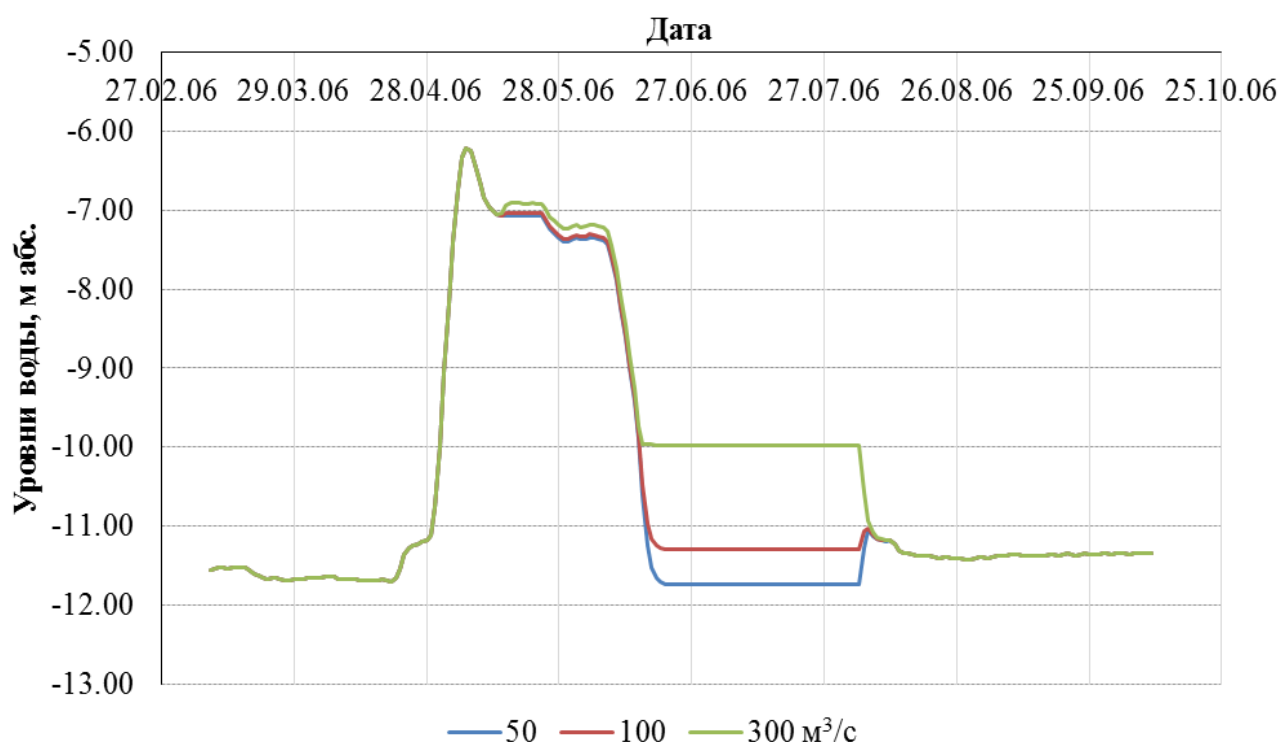


Рис. 15. Модельные уровни воды на узле Средней Ахтубы при разных вариантах водоподачи (50, 10 и 300 м³/сек) и работе вододеливателя в Волго-Ахтубинском канале в 2006 г.

Fig. 15. Model water levels at the node of the Middle Akhtuba at the different ways of water delivery (50, 10, 300 м³/sec) and the water divider in the Volga-Akhtuba channel work in 2006.

Анализ результатов моделирования показал, что для дальнейших исследований следует остановиться на вариантах дополнительной подачи воды в Ахтубу в диапазоне от 100 до 300 м³/сек, поскольку даже в маловодный год подкачка воды в размере 50 м³/сек малоэффективна, так как расходы воды в канале, поступающие из Волги, ее превышают.

В качестве одного из технических вариантов рассмотрен расчет по маловодному 2006 году с разным режимом подкачки воды в Ахтубу: 300 м³/сек с 15 мая по 1 августа, а дальше с 5 августа по 15 ноября – 100 м³/с; вододелитель на Волго-Ахтубинском канале включен с 15 июня по 15 ноября. Результаты счета для п. Средняя Ахтуба приведены на рисунке 16.

Для многоводного 2005 года работа вододелителя имеет отрицательный эффект, перекрывая ток воды по каналу из Волги и таким образом уменьшая величину расхода и уровня воды в Ахтубе. Только при водоподаче 300 м³/сек такого падения уровня не происходит и наблюдается положительный эффект (рис. 17). Сравнение расчетных данных с наблюдаемыми показывает адекватную работу модели.

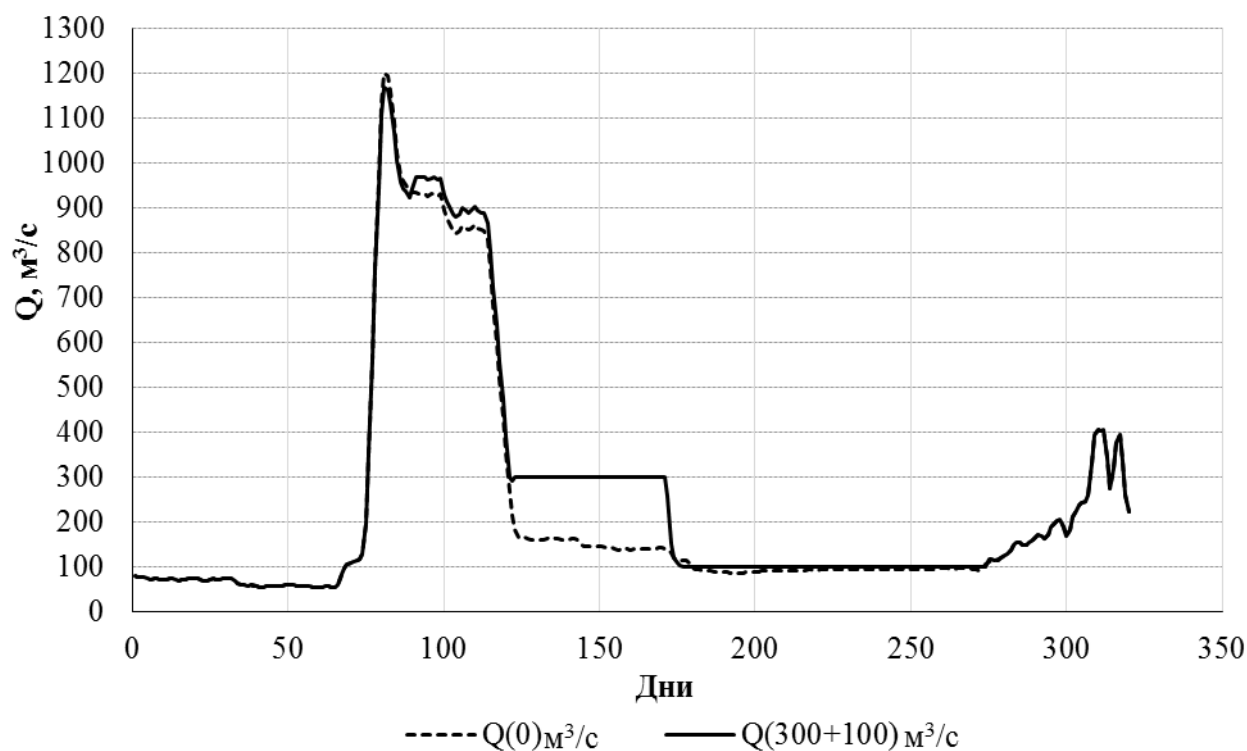


Рис. 16. Модельные расходы воды в р. Ахтуба (п. Средняя Ахтуба) при дополнительной водоподаче в реку и без нее, с учетом работы вододелителя. Условные обозначения: $Q(0 \text{ м}^3/\text{с})$ – без водоподачи, $Q(300+100 \text{ м}^3/\text{с})$ – с водоподачей, дни от начала года.

Fig. 16. Model water discharge in the River Akhtuba (the Middle Akhtuba settlement) with and without the extra water delivery into the river, considering the water divider work. Notes: $Q(0 \text{ m}^3/\text{s})$ – without water delivery, $Q(300+100 \text{ m}^3/\text{s})$ – with water delivery, days from the year beginning.

Выводы

Результаты расчетов демонстрируют, что предложенный способ моделирования гидрологического режима и режима проточности водоемов и водотоков гораздо более

эффективен, чем используемые сегодня в практике различные регрессионные уравнения, связывающие режимные характеристики (уровни, расходы, продолжительности, приращения и т.п.) для пойменных водоемов и водотоков.

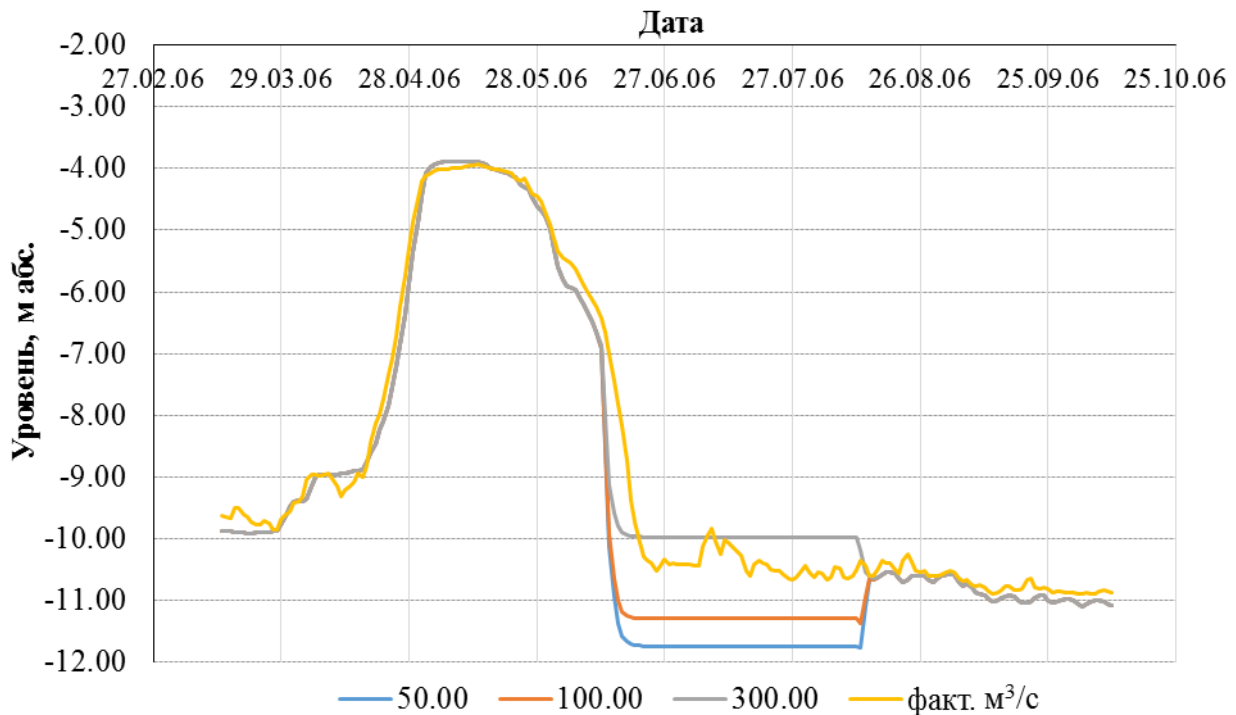


Рис. 17. Наблюденный и модельные уровни воды на узле Средней Ахтубы при разных вариантах водоподачи (50, 100 и 300 м³/сек) и работе вододелителя в Волго-Ахтубинском канале в 2005 г. **Fig. 17.** Observed and model water levels at the Middle Akhtuba node at the different ways of water delivery (50, 100, 300 m³/sec) and the water divider work in the Volga-Akhtuba channel in 2005.

Исследование состояния экосистем Нижней Волги, находящихся под воздействием водного фактора, показало, что в результате строительства Волжско-Камского каскада гидроузлов и регулирования стока в регионе сложилась новая и в целом устойчивая экологическая система, которая адаптировалась к существующему гидрологическому режиму, но, тем не менее, испытывает возрастающее антропогенное воздействие, которое усугубляется климатическими изменениями.

Для предотвращения дальнейшей деградации и улучшения ситуации в пределах ВАП необходим комплекс природоохранных мероприятий и, прежде всего, дополнительная подача воды. Изучение эффектов, получаемых в результате реализации схем и объемов водоподачи в русло р. Ахтубы с помощью предлагаемой моделирующей системы, показало, что требуется система регулирующих сооружений, обеспечивающих реализацию экологических требований к водообмену водоемов и водотоков Волго-Ахтубинской поймы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. 2014б. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга // Метеорология и гидрология. № 3. С. 75-85.

- Болгов М.В., Красножон Г.Ф., Шаталова К.Ю.* 2014а. Компьютерная гидродинамическая модель Нижней Волги // Водные ресурсы. Т. 41. № 1. С. 10-23.
- Болгов М.В., Шаталова К.Ю., Харламов М.А, Муравьев В. П., Соболев С.В., Соболев И.С., Февралев А.В., Сидоров Н.П., Красильников В.М., Хохлов Д.Н.* 2017. Моделирование проточности Волго-Ахтубинской поймы в условиях изменения антропогенного воздействия // Гидротехническое строительство. № 5. С. 158-164.
- Вехов Д.А.* 2009. Состояние рыбных запасов северной части Волго-Ахтубинской поймы в неординарном по гидрологическим и метеорологическим условиям 2006 г. // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономическая экология. Сер. 3. № 1 (14). С. 248-255.
- Вехов Д.А.* 2012. Об особенностях водоемов северной части Волго-Ахтубинской поймы как среды обитания рыб // Материалы III Международной научно-практической конференции молодых ученых «Комплексные исследования биологических ресурсов южных морей и рек». Астрахань: Издательство КаспНИРХ. С. 27-28.
- Водные ресурсы России и их использование. 2008. С.-Пб.: Издательство ГГИ. 587 с.
- Горелиц О.В.* 1994. Характеристика уровненного режима при прохождении волн половодий и попусков в дельте Волги // Водные ресурсы. М.: МАИК Наука. Т. 24. № 4. С. 457-462.
- Горелиц О.В., Землянов И.В.* 2005. Исследование сезонных процессов в устьевой области Волги с использованием данных дистанционного зондирования // Водные ресурсы. Т. 32. № 3. С. 261-273.
- Горелиц О.В., Землянов И.В., Сапожникова А.А.* 2010. Многолетняя и сезонная изменчивость основных параметров гидрологического режима Нижней Волги в створе г. Волгограда // ООПТ Нижней Волги как важнейший механизм сохранения биоразнообразия: итоги, проблемы и перспективы. Материалы научно-практической конференции. Волгоград. С. 186-198.
- Горелиц О.В., Землянов И.В.* 2013. Современный механизм заливания территорий Волго-Ахтубинской поймы в период половодья (в пределах Волгоградской области) // Научный потенциал регионов на службу модернизации. Астрахань: ГАОУ АО ВПО «АИСИ». Спецвыпуск. № 2 (5). С. 9-18.
- Горелиц О.В., Землянов И.В.* 2015. Современные гидрологические исследования водных объектов Нижней Волги // Материалы Международной научно-практической конференции «Обеспечение гидрометеорологической и экологической безопасности морской деятельности». Астрахань. С. 119-121.
- Горелиц О.В., Землянов И.В., Синенко Л.Г.* 2011. Влияние морфометрических характеристик русла на водообеспечение территорий Нижней Волги // Современное состояние водообеспеченности и пути оптимизации хозяйственной деятельности в зоне западно-подступных ильменей. Материалы научно-практической конференции. Пос. Лиман, Астраханская область. С. 84-91.
- Горелиц О.В., Ермакова Г.С., Сапожникова А.А., Терский П.Н.* 2014. Водный режим реки Ахтуба в условиях зарегулированного стока реки Волги // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей. VIII Международная научно-практическая конференция. Москва, РУДН, 24-27 ноября 2014 г. Т. 2. С. 156-165.
- Горайнов В.В., Филиппов О.В., Плякин А.В., Золотарев Д.В.* 2004. Волго-Ахтубинская пойма: особенности гидрографии и водного режима. Волгоград: Волгоградское научное издательство. 112 с.
- Горайнов В.В., Филиппов О.В., Плякин А.В., Золотарев Д.В.* 2007. Экологическая безопасность природно-хозяйственных систем Волго-Ахтубинской поймы: структура и организация мониторинга водного режима. Волгоградское научное издательство. 109 с.
- Землянов И.В., Горелиц О.В., Павловский А.Е., Шкунова Е.Ю., Козлова М.В.,*

Сапожникова А.А., Орлова М.А., Никишин А.Н., Клинкова Г.Ю., Яковлев С.В., Науменко А.Н., Горелов В.П., Вехов Д.А., Голуб В.Б., Чернобай В.Ф., Белик В.П., Луконина А.В., Супрун Н.А., Вольнова Л.Г., Федотова А.В., Пилипенко В.Н., Яковлева Л.В., Перевалов С.Н., Сорокин А.П., Филиппов О.В., Золотарев Д.В., Солодовников Д.А., Синенко Л.Г., Олейников А.А. 2010. Анализ экологических последствий эксплуатации Волгоградского водохранилища для сохранения биоразнообразия основных водно-болотных территорий Нижней Волги // Отчет по Проекту ПРООН/ГЭФ 00047701 «Сохранение биоразнообразия водно-болотных угодий Нижней Волги». Москва: ГОИН. 675 с.

Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е., Каримова Т.Ю. 2015. Динамические изменения наземных экосистем поймы и дельты Нижней Волги под влиянием зарегулирования речного стока и климатических флуктуаций // Аридные экосистемы. Т. 21. № 4 (65). С. 39-53.

Мажбиц Г.Л., Буланов Е.П. 2008. Изменение положения кривой связи расходов и уровней воды и русловые процессы в нижнем бьефе Волжской ГЭС // Водные ресурсы Волги: настоящее, будущее, проблемы управления. Астрахань: Издательство «АГУ». С. 232-240.

Нижняя Волга: геоморфология, палеогеография и русловая морфодинамика. 2002 / Ред. Г.И. Рычагов, В.Н. Коротаев. М.: ГЕОС. 242 с.

Отчет о научно-исследовательской работе по Государственному контракту от 13 сентября 2013 года №10-ГК/ФЦП-2013 по реализации федеральной целевой программы «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах» по научному обоснованию мероприятий, обеспечивающих рациональное использование водных ресурсов и устойчивое функционирование водохозяйственного комплекса Нижней Волги, сохранение уникальной системы Волго-Ахтубинской поймы. Этап 2. Провести исследования гидравлических, гидроморфологических, гидрологических процессов и режимов при различных вариантах прохождения половодья по Нижней Волге, проведение комплекса полевых исследований. № госрегистрации 01201376234. М.: ФГБУ «ГОИН». 2014. 436 с.

SOBEK-Rural. 2004 // Delft Hydraulics Software manual. Delft. 250 p.

WATER AND ECOLOGY PROBLEMS OF THE VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN

© 2017. M.V. Bolgov*, K.Yu. Shatalova*, O.V. Gorelits**, I.V. Zemlyanov**

*Water Problems Institute of RAS

Russia, 119333, Moscow, Gubkina Str., 3. E-mail: k.shat@mail.ru, bolgovmv@mail.ru

**Zubov State Oceanographic Institute

Russia, 119034, Moscow, Kropotkinsky Alley, 6

The article presents the hydrological factors of the changes of the water ecosystems condition in the Lower Volga. The general characteristic of the researching region problems are considered. The qualitative characteristics of the hydrological changes of the Lower Volga watercourses have been received with the help of the hydrometeorological monitoring data. It's been revealed that these changes are very significant and can be considered as the main reason of the water ecosystems degradation in the researching region. To provide the improvement of the water bodies state in the Volga-Akhtuba floodplain the scheme of the additional water delivery into the River Akhtuba through the special water conduit is recommended. The effectivity of the recommended approach has been investigated by the method of the hydrodynamic modeling.

Keywords: Volga-Akhtuba floodplain, hydrological regime, river flow, nature ecosystems, nature management, water exchange, watering.