

---

**ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ, ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
И ПАЛЕОНТОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

---

УДК 556.047(282.247.41)

**ДЕЛЬТА РЕКИ ВОЛГИ: СТАТИСТИЧЕСКИЕ  
ТРЕНДЫ ВОДНОГО РЕЖИМА**

**Валов М. В., Колотухин А. Ю., Бармин А. Н., Татаринцев С. А., Синцов А. В.**

*ФГБОУВО «Астраханский государственный университет»,*

*г. Астрахань, Российская Федерация,*

*e-mail: m.v.valov@mail.ru*

В работе проанализированы статистические количественные показатели некоторых характеристик водного режима реки Волги и специфические особенности их динамики за несколько временных периодов с общим охватом лет наблюдений с 1881 по 2019 г. В качестве инструментов анализа использовались методы математической статистики. В динамике водного стока выявлены два периода: до 50-х и после 50-х гг. XX в. Первый из них характеризуется большей амплитудой колебаний между периодами больших и малых сбросов воды в створе Волжской гидроэлектростанции, большей вариативностью и разбросом показателей; второй период — меньшим разбросом между уровнями сбросов, но значительно укороченными промежутками между годами с большим и меньшим уровнями водности.

**Ключевые слова:** р. Волга, гидрологический режим, водный сток, дельта р. Волги.

### Введение

Речные долины как территории, наиболее обеспеченные водными, биологическими и плодородными земельными ресурсами, были освоены человеком с древних времён [Антропогенные воздействия ... , 2003; Валов, Бармин, Иолин, 2018; Устья рек ... , 2013]. Для дельты реки Волги, представляющей собой уникальный интразональный ландшафт, расположенный в пределах зональных пустынных пространств, водные ресурсы играют ключевую роль в функционировании природных комплексов, сохранении биоразнообразия, количестве и качестве экосистемных услуг и социально-экономическом развитии населения [Байдин, 1962; Брылев, Овчарова, 2009; Валов и др., 2021].

История активного антропогенного воздействия на водные ресурсы реки Волги, под которым понимается любая человеческая деятельность, приводящая к их изменению и связанным с нею последствиям для природы, хозяйства и условий жизни людей, насчитывает более ста лет [Антропогенные воздействия ... , 2003; Бармин, Валов, 2015; Румянцев и др., 2021; Устья рек ... , 2013]. За этот период в результате многих видов хозяйственной деятельности произошли значительные изменения водного режима реки и трансформация качества водных ресурсов. В частности, антропогенные преобразования речного стока изменили динамику процессов поемности и аллювиальности, что послужило пусковым механизмом нарушения экотонной структуры пойменных и дельтовых ландшафтов, в связи с чем возникает угроза исчезновения уникальных гидроморфных экосистем [Атлас дельты ... , 2015; Байдин, Линберг, Самойлов, 1956; Валов, Бармин, Иолин, 2018; Михайлов и др., 2018; Valov et al., 2019].

На сегодняшний день данные вопросы, в совокупности с наблюдаемыми изменениями климатических характеристик, имеют важнейшее значение для устойчивого социо-эколого-экономического развития территорий [Болгов, 2015; Валов и др., 2021; Об утверждении Водной ... , 2009; Доклад об особенностях ... , 2020; Climate change ... , 2013].

Целью настоящей работы является определение статистически выраженных трендов динамики водного режима реки Волги и специфические особенности его разновременных показателей в период с 1881 по 2019 г.

### Материалы и методы

Для исследования разновременной динамики показателей гидрологического режима использовались методы математической статистики и анализа выборок, такие как определение корреляции и дисперсионный анализ. Корреляция использовалась в качестве показателя взаимного изменения динамики сбросов воды, поскольку её определение и анализ позволяют делать выводы о динамике взаимосвязи выборок. Дисперсионный анализ использовался для определения уровня разбросов показателей водного стока в створе Волжской гидроэлектростанции (ГЭС) в различные годы и их вариаций.

Для определения общих характеристик динамики использовался метод построения и анализа диаграмм. Графики использовались для визуализации динамики и наглядного определения её параметров. Для более точного определения направленности изменений использовалась точечная диаграмма, в которой по оси абсцисс брались значения уровня сбросов, а по оси ординат откладывались годы, что позволяет точнее определять группировку значений с повышенными и пониженными показателями за различные периоды времени.

### Результаты и обсуждение

Дельта р. Волги является одной из самых разветвлённых дельт в мире. Количество естественных водотоков волжской дельты в настоящее время составляет порядка 800 и изменяется в зависимости от колебаний уровня Каспийского моря: длительное понижение уровня моря приводит к сосредоточению стока в наиболее крупных рукавах, а многолетнее повышение уровня морских вод способствует рассредоточению водного стока по большему количеству водотоков [Атлас дельты ... , 2015; Байдин, Линберг, Самойлов, 1956; Брылев, Овчарова, 2009].

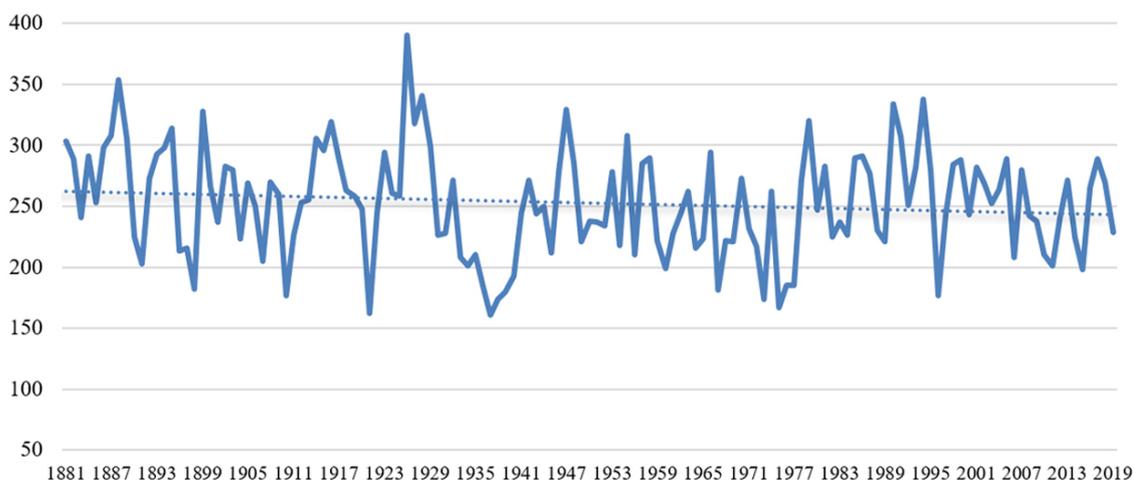
Коэффициент густоты русловой сети р. Волги в верхней части дельты составляет 5–7 км/км<sup>2</sup>, в средней и нижней части дельты данный показатель возрастает [Атлас дельты ... , 2015; Валов, Бармин, Иолин, 2018].

Гидрографическая сеть р. Волги представляет собой сложную систему, в которой можно выделить проточную сеть, представленную основным руслом Волги, крупными магистральными рукавами, протоками, ериками и банками с постоянным направлением течения, и непроточную, которая объединяет более мелкие водотоки, как правило, с непостоянным направлением течения, лагунными, култучными и подстепными ильменями [Валов, Бармин, Иолин, 2018; Основные гидрологические ... , 2015].

Особенностью гидрологии дельты р. Волги являются значительные колебания стока воды, в частности выделение двух крайних фаз — половодной и меженной. В половодье происходит мощный разлив полых вод, превращающих дельту в сплошное водное пространство, а в период межени многие ерики и протоки мелеют или пересыхают и наблюдается значительный недостаток воды, при этом высокая естественная дренированность дельты усиливается искусственными каналами-рыбоходами [Байдин, Линберг, Самойлов, 1956; Устья рек ... , 2013].

Река Волга отличается высокой водоносностью, которая за счёт боковой приточности увеличивается от истока к устью. В створе Волжской ГЭС средний годовой объём водного стока реки составляет 259 км<sup>3</sup>, при впадении в Каспий данная величина сокращается до 253 км<sup>3</sup>. За инструментальный период наблюдений с 1922 г. максимальная величина водного стока составила 390 км<sup>3</sup> (1926 г.), минимальная — 161 км<sup>3</sup> (1937 г.) [Брылев, Овчарова, 2009; Бармин, Валов, 2015].

За исследуемый период среднее значение водного стока составило  $252,8 \text{ км}^3$  со среднеквадратичным отклонением  $44 \text{ км}^3$  и вариативностью  $17,5 \%$ . Вместе с тем на графике (рис. 1) чётко выражены два различных периода, характеризующиеся различной многолетней динамикой водного стока.



**Рис. 1.** Объём водного стока р. Волги в створе Волжской ГЭС за год,  $\text{км}^3$

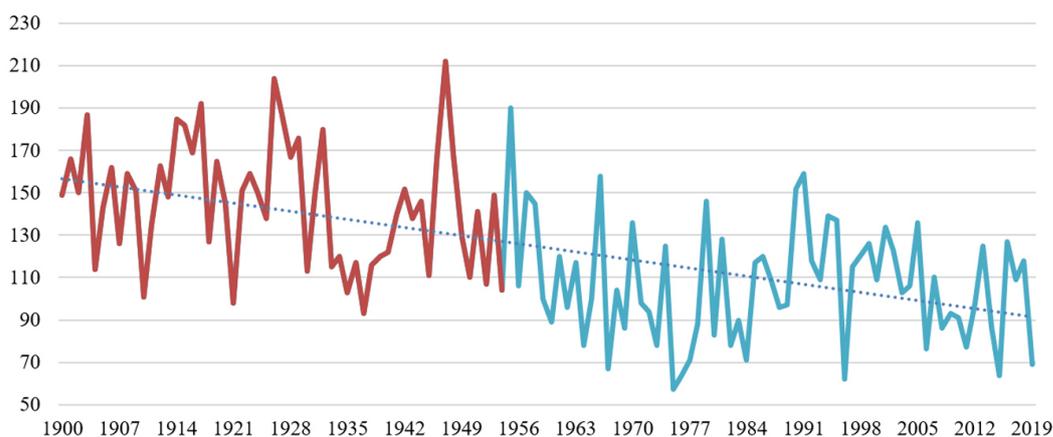
В период с 1881 г. до 50-х гг. XX в. наблюдаются длительные многолетние переходы от повышенных до пониженных объёмов водного стока, в конце каждого периода отмечается пиковый год, после которого динамика объёма стока меняется на обратную, в ходе смены пиков присутствуют аномальные годы. В этот период среднее значение водных объёмов выше, чем общее за период исследования, и равно  $257 \text{ км}^3$  со среднеквадратичным отклонением  $47,4 \text{ км}^3$  и вариативностью  $18,4 \%$ , что также выше показателей за общий временной промежуток исследований.

В период с 50-х гг. XX в. динамика водного стока значительно меняется, наблюдаются резкие перепады между многоводными и маловодными годами, но вместе с тем сами пиковые показатели сглаживаются, разброс уровней сброса в различные по водности годы становится меньше, а периоды между пиковыми показателями — короче, в данный период также отсутствует какой-либо тренд на изменение количества среднегодового стока. Среднее значение объёмов воды незначительно меньше, чем общее за период исследования, и равно  $248,3 \text{ км}^3$  со среднеквадратичным отклонением  $40 \text{ км}^3$  и вариативностью  $16 \%$ , что также ниже показателей за общий временной промежуток и значительно ниже, чем в период до 1950-х гг.

Для функционирования и динамики дельтовых экосистем наиболее важной фазой гидрологического режима является половодье, под которым после зарегулирования водного стока р. Волги каскадом ГЭС понимается объём водных сбросов в створе Волжской ГЭС за 2-й квартал [Брылев, Овчарова, 2009; Кузьмина, Трешкин, Шинкаренко, 2018; Устья рек ... , 2013].

В динамике водного стока за 2-й квартал можно определить тренд на уменьшение количества сбросов воды с 1900 по 2019 г. (рис. 2). Средний уровень сброса за данный период равен  $124,2 \text{ км}^3$ , среднеквадратичное отклонение составляет  $34 \text{ км}^3$ , вариативность  $27 \%$ . Помимо этого, в общей динамике также выделяются два различных периода, во многом повторяющие динамические периоды среднегодового водного стока.

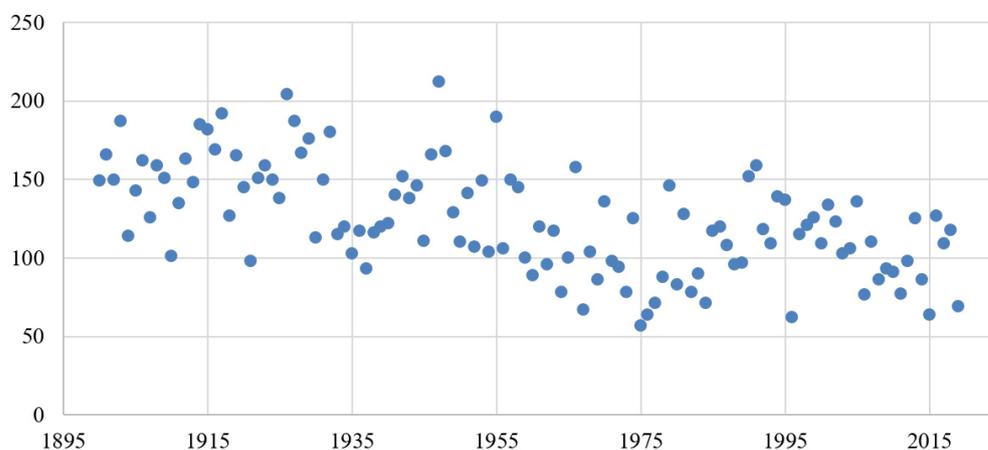
В период до 50-х гг. XX в. наблюдается значительно бóльшая амплитуда колебаний значений в годы с наибольшим и наименьшим сбросом, средний сброс в данный период равен  $145,6 \text{ км}^3$  при стандартном отклонении  $28,4 \text{ км}^3$  и вариативности  $19 \%$ ; период характеризуется увеличенным средним показателем уровня расходов воды и меньшей вариативностью относительно общей динамики.



**Рис. 2.** Объём водного стока р. Волги на створе Волжской ГЭС за 2-й квартал, км<sup>3</sup>

Работа каскада гидроэлектростанций на р. Волге изменила гидрологический режим реки, что привело к срезке пиков половодий и уменьшению их длительности; кроме того, в среднем на 28 км<sup>3</sup> увеличился сток в зимний период [Антропогенные воздействия ... , 2003; Бармин, Валов, 2015; Румянцев и др., 2021]. С 50-х гг. XX в. промежутки между годами с повышенными и пониженными уровнями сбросов сокращаются, но амплитуда колебаний остаётся примерно равной общим показателям для всего периода. Средний уровень сбросов в это время составляет 106 км<sup>3</sup> при стандартном отклонении 27 км<sup>3</sup> и вариативности 25 %.

Для более полной оценки снижения уровней стоков за 2-й квартал построена точечная диаграмма объёмов сбросов (рис. 3).



**Рис. 3.** Распределение сбросов воды в створе Волжской ГЭС во 2-м квартале в период 1900–2019 гг., км<sup>3</sup>

На данной диаграмме чётко выражена динамика снижения сбросов за 2-й квартал, наибольшее количество лет с малым относительным уровнем сбросов расположено в период после 50-х гг. XX в., в данный период полностью отсутствуют годы, аномально высокий уровень сброса в которых достигал бы уровней периода до 1950-х гг.

Важным показателем, характеризующим водный сток, является максимальный уровень подъёма воды в период половодья, исследование которого позволяет определить дополнительные характеристики динамики сбросов и затопления дельтовых территорий [Устья рек ... , 2013; Основные гидрологические ... , 2015].

В период с 1954 по 2019 г. для максимальных уровней подъёма воды отсутствует ярко выраженный тренд, при этом существующий многолетний тренд на увеличение средних уровней подъёма воды имеет недостаточную достоверность для использования его при характеристике максимальных показателей (рис. 4). За наблюдаемый период средний уровень подъёма воды равен 269,3 см, стандартное отклонение 41,5 см при вариативности 16 %. В дельте р. Волги снижение высоты подъёма воды в период половодья привело к уменьшению относительной площади ежегодно затопливаемых территорий с 90 до 40–60 %.

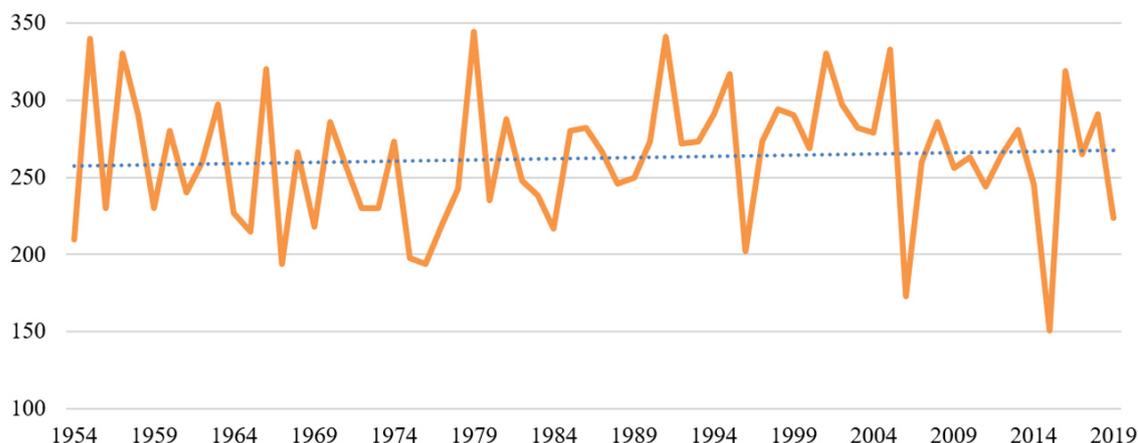


Рис. 4. Максимальные уровни воды в период половодья по гидропосту г. Астрахани, см

Значимым аспектом для определения современной динамики и прогнозирования водного стока является совместное рассмотрение описанных показателей за единый промежуток времени (рис. 5).

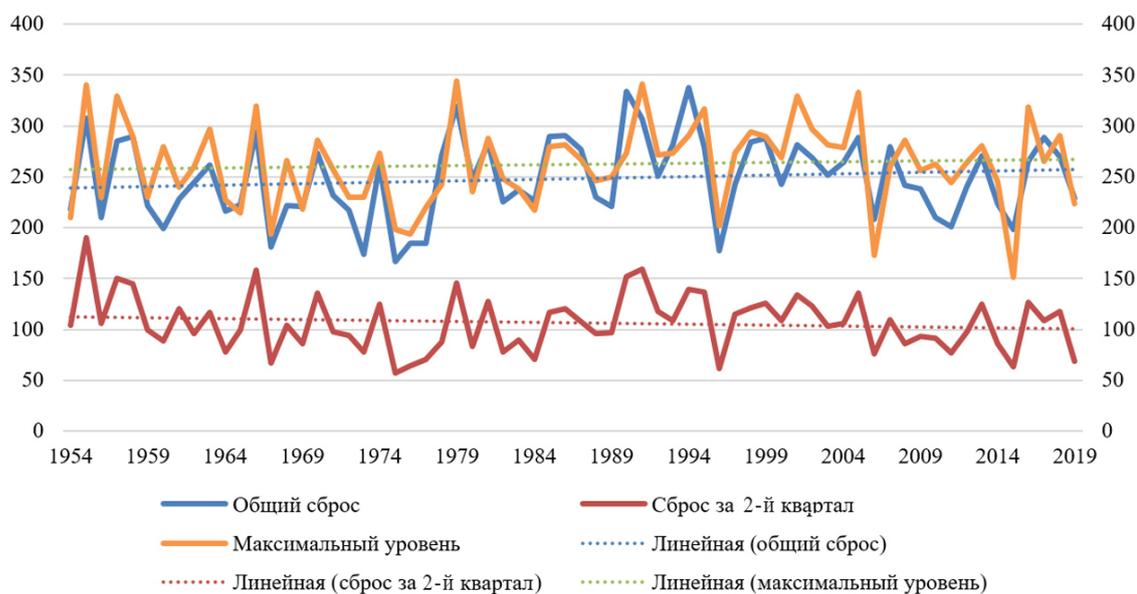


Рис. 5. Динамика объёма водного сброса в створе Волгоградской ГЭС (км<sup>3</sup>) и максимальных уровней воды по гидропосту г. Астрахани (см)

За период с 1954 по 2019 г. в общей динамике показателей наблюдается тренд на снижение уровня сбросов во 2-м квартале при отсутствии ярко выраженных трендов изменения общего сброса и максимальных уровней подъёма воды. Таким образом, создаётся ситуация, когда при многолетнем неизменном уровне годовых сбросов воды с 1954 г. доля воды, сбрасываемой во 2-м квартале года, постепенно уменьшается. Вместе с тем данный тренд остаётся скрытым при исследовании графиков динамики из-за примерно равной угловой скорости изменения показателей. Однако при анализе многолетних периодов можно обнаружить, что в период с 1900 по 2019 г. корреляция показателей общего сброса и сброса во 2-м квартале снижается. Корреляция показателей с 1900 по 1954 г. составляла 87 %, а с 1954 по 2019 г. — 85 %. Вместе с тем корреляция на меньших промежутках времени продолжает оставаться высокой, но также постепенно снижается: с 1954 по 1974 г. она составляла 92 %, с 1974 по 1995 г. снизилась до 90 %, а с 1995 по 2019 г. — до 89 %.

### Выводы

Характеристики водного режима (динамика общего стока реки, изменение режимов попусков в период половодий и в осенне-зимнее время, скорость сбросов, уровни подъёма воды и длительность её стояния и др.) для дельты реки Волги непосредственно определяют функционирование и динамику как природных комплексов (изменение уровня грунтовых вод, почвенное засоление, продуктивность и видовой состав растительности, количество рыбных запасов и общий уровень биоразнообразия и т. д.), так и социально-экономическое состояние территории (экосистемные услуги, водоснабжение населения и предприятий, орошение сельскохозяйственных угодий, судоходство, качество вод и др.), в связи с чем изучение, прогнозирование и регулирование водного режима играют важнейшую роль для устойчивого развития данного региона.

По результатам проведённого анализа можно сделать следующие выводы:

1. Динамика уровня годового объёма водного стока делится на два больших периода: до 50-х и после 50-х гг. XX в. Первый период характеризуется большей амплитудой колебаний между периодами больших и малых сбросов, большей вариативностью и разбросом показателей; второй период — меньшим разбросом между уровнями сбросов, но значительно укороченными промежутками между годами с большим и меньшим уровнями сбросов.

2. Относительно общегодового водного стока существует тренд на изменение его внутригодового распределения: происходит снижение объёма сбросов за 2-й квартал и увеличение в другие периоды года (особенно существенно в зимнее время).

3. Для показателя максимальных уровней подъёма воды в период половодья отсутствует чётко выраженный тренд, но вместе с тем вариативность показателя достаточно значительна и достигает 16 %, при этом разница между уровнями в различные годы в среднем составляет 41,5 см.

4. Существует потенциальный вектор уменьшения продолжительности сбросов в половодье и снижения уровней общегодового стока при увеличении сбросов в кратковременный пиковый период.

5. При продолжении данных тенденций можно спрогнозировать дальнейшее уменьшение подъёма воды и существенные изменения в ходе гидрографа в период половодья, что повлечёт за собой значительные ландшафтные и экосистемные изменения в дельте р. Волги, многие из которых наблюдаются уже на сегодняшний день.

### Список литературы

1. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Рос. акад. наук, Ин-т географии ; под ред. Н. И. Коронкевич, И. С. Зайцева. — Москва : Наука, 2003. — 367 с.
2. Атлас дельты реки Волги: геоморфология, русловая и береговая морфодинамика / МГУ им. М. В. Ломоносова, Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова РАН ; отв. ред.: В. Н. Коротаев [и др.]. — Москва : АПР, 2015. — 128 с.

3. *Байдин С. С.* Сток и уровни дельты Волги. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1962. – 337 с.
4. *Байдин С. С., Линберг Ф. Н., Самойлов И. В.* Гидрология дельты Волги. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1956. – 332 с.
5. *Бармин А. Н., Валов М. В.* Устьевая область реки Волги: интегральная оценка некоторых природных и антропогенных факторов, влияющих на изменение гидрологического режима // *Естественные науки.* – 2015. – № 2. – С. 7–15.
6. *Болгов М. В.* О выполнении программы приоритетных научных исследований в области водных ресурсов для реализации водной стратегии Российской Федерации до 2020 года // *Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г.» : всерос. науч. конф., 6–11 июля 2015 г. / редкол.: Г. В. Пряжинская [и др.]. – Петрозаводск : Карел. науч. центр РАН, 2015. – Т. 1. – С. 39–46.*
7. *Брылев В. А., Овчарова А. Ю.* Динамика половодий в нижнем бьефе Волгоградской ГЭС и экологические последствия за 2006–2009 гг. // *Современное состояние водных ресурсов Нижней Волги и проблемы их управления : материалы регион. науч.-практ. конф., Астрахань, 18–19 нояб. 2009 г. / Астрахан. гос. ун-т [и др.]. – Астрахань : АГУ, 2009. – С. 35–38.*
8. *Валов М. В., Бармин А. Н., Иолин М. М.* Дельта реки Волги: влияние ведущих факторов ландшафтной трансформации на почвенно-растительный покров. – Астрахань : Сорокин Роман Васильевич, 2018. – 140 с.
9. *Валов М. В., Колотухин А. Ю., Бармин А. Н., Зимовец П. А., Занозин В. В.* Оценка режимов природной тепло- и влагообеспеченности дельты реки Волги // *Учёные записки Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского. География. Геология.* – 2021. – Т. 7, № 1. – С. 212–225.
10. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). – Москва : [б. и.], 2020. – 97 с.
11. *Кузьмина Ж. В., Трешкин С. Е., Шинкаренко С. С.* Влияние зарегулирования речного стока и изменений климата на динамику наземных экосистем Нижней Волги // *Аридные экосистемы.* – 2018. – Т. 24, № 4. – С. 3–18.
12. *Михайлов В. Н., Кравцова В. И., Инюшин А. Н., Михайлова М. В.* Изменения тенденции развития дельты под влиянием внешних естественных и антропогенных факторов (на примере современного устья Хуанхэ) // *Водные ресурсы.* – 2018. – Т. 45, № 4. – С. 353–365. – <https://doi.org/10.1134/S0321059618040168>
13. Об утверждении Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 г. : Распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 г. № 1235-р. // *КонсультантПлюс* : [сайт]. – Москва, 1997–2021. – URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_91329/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_91329/) (дата обращения: 26.08.2021).
14. Основные гидрологические характеристики рек бассейна Нижней Волги : науч.-приклад. справ. / Гос. гидрол. ин-т ; под ред. В. Ю. Георгиевского. – Ливны : Мухаметов Г. В., 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
15. *Румянцев В. А., Коронкевич Н. И., Измайлова А. В., Георгиади А. Г., Зайцева И. С., Барабанова Е. А., Дробкова В. Г., Корнеевкова Н. Ю.* Водные ресурсы рек и водоёмов России и антропогенные воздействия на них // *Известия Российской академии наук. Серия географическая.* – 2021. – Т. 85, № 1. – С. 120–135. – <https://doi.org/10.31857/S258755662101012X>
16. Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления / МГУ им. М. В. Ломоносова ; под ред. В. Н. Михайлова. – Москва : ГЕОС, 2013. – 703 с.

17. Climate change 2013 : the physical science basis : Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed. by T. F. Stocker. – New York : Cambridge University Press, [2014]. – 1535 p. – URL: <http://www.climatechange2013.org>
18. Valov M. V., Barmin A. N., Eroshkina O. S., Probst E. N. The modern state of the ecosystem in the Volga River delta ecotone and dynamics of the changes in water availability conditions // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 381. – 012092. – <https://doi.org/10.1088/1755-1315/381/1/012092>

### **VOLGA RIVER DELTA: STATISTICAL TRENDS OF WATER REGIME**

**Valov M. V., Kolotukhin A. Yu., Barmin A. N., Tatarintsev S. A., Sintsov A. V.**

*Astrakhan State University, Astrakhan, Russian Federation,*

*e-mail: [m.v.valov@mail.ru](mailto:m.v.valov@mail.ru)*

The statistical quantitative indicators of some characteristics of the Volga River water regime and the specific features of their dynamics was carried out in this work over several time periods with a total coverage of observation years from 1881 to 2019. Methods of mathematical statistics were used as analysis tools. In the dynamics of water runoff, two periods have been identified: before the 50s and after the 50s of the XX century. The first of them is characterized by a greater amplitude of fluctuations between periods of large and small discharges of water in the section of the Volzhskaya hydroelectric power station, greater variability and spread of indicators; the second period is characterized by a smaller spread between discharge levels, but significantly shorter intervals between years with higher and lower water levels.

**Keywords:** the Volga river, hydrological regime, water flow, the river Volga delta.

#### Сведения об авторах

Валов Михаил Викторович	кандидат географических наук, доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и БЖД, ФГБОУВО «Астраханский государственный университет», <a href="mailto:m.v.valov@mail.ru">m.v.valov@mail.ru</a>
Колотухин Александр Юрьевич	ассистент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и БЖД, ФГБОУВО «Астраханский государственный университет», <a href="mailto:m.v.valov@mail.ru">m.v.valov@mail.ru</a>
Бармин Александр Николаевич	доктор географических наук, профессор, декан геолого-географического факультета, ФГБОУВО «Астраханский государственный университет», <a href="mailto:abarmin60@mail.ru">abarmin60@mail.ru</a>
Татаринцев Сергей Александрович	доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и БЖД, ФГБОУВО «Астраханский государственный университет», <a href="mailto:m.v.valov@mail.ru">m.v.valov@mail.ru</a>
Синцов Александр Владимирович	кандидат географических наук, доцент кафедры экологии, природопользования, землеустройства и БЖД, ФГБОУВО «Астраханский государственный университет», <a href="mailto:m.v.valov@mail.ru">m.v.valov@mail.ru</a>

*Поступила в редакцию 10.09.2021 г.  
Принята к публикации 16.11.2021 г.*